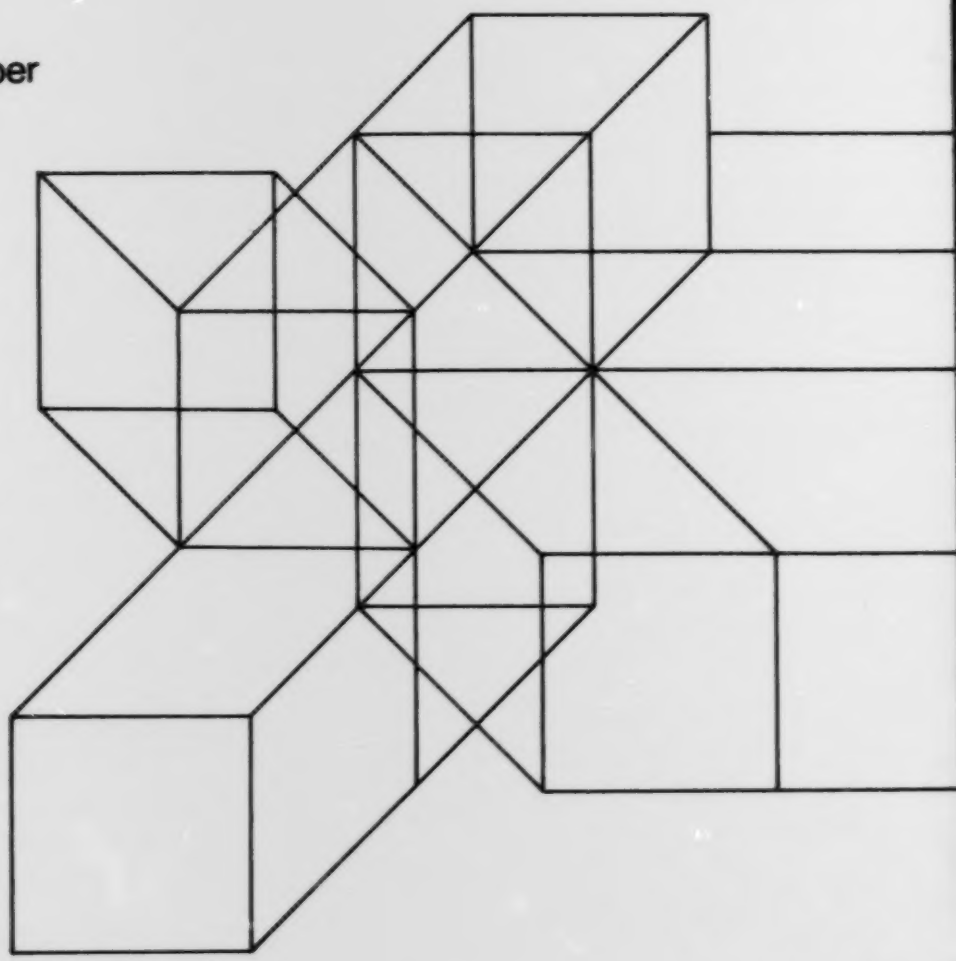
Science
Council of
Canada

Macroscole

A Holistic Approach to Science Teaching

A Discussion Paper
by Marcel Risi



37

Discussion Paper D82/2

MACROSCOLE

A Holistic Approach to Science Teaching

A Discussion Paper
by Marcel Risi

October 1982

Discussion Papers are working documents made available by the Science Council of Canada, in limited numbers, to interested groups and individuals for the benefit of their comments.

The views expressed in this Discussion Paper are those of the author and are not necessarily endorsed by the Science Council of Canada.

Copies of

MACROSCOLE
A Holistic Approach to Science Teaching

are available
free of charge from:

The Publications Office
Science Council of Canada
100 Metcalfe Street
Ottawa, Ontario.
K1P 5M1

Des exemplaires de
La Macroscole ou l'enseignement systémique des sciences
sont disponibles gratuitement

© Minister of Supply and Services, 1982

Catalogue No. SS21-4/7-1982E
ISBN No. 0-662-12246-1

TABLE OF CONTENTS

FOREWORD 5

I. INTRODUCTION: A NEW FORM OF DIALOGUE 7

II. INDUSTRIAL CHANGE 11

The Innovation Process 13
The Function of Information 13
The Gruber and Marquis Model 16
The Practical Implications 17
The Function of the Entrepreneur 18

The Origin of Inventions 21
Decentralization of Authority 21
Capacity to Absorb Mistakes 21
Flexible Communications Network 22
Management of Human Resources 22

A Typology of Innovation 24

III. THE TECHNOLOGY OF THE 1990s 29

Energy 29

The Environment 31

Biotechnology 32

The Redeployment of Technology 33

IV. THE TEACHING OF SCIENCE 37

The Process of Creativity 38
The Profile of the Creative Individual 39
The Two Routes 39

The Development and Influence of the Computer 41

V. ONE SCENARIO: THE MACROSCOLE 45

The Ecosociety 46
Ecotechnology 46
Ecoeducation 47

The Macroscole 48

A Final Thought 49

TABLES

Table I - The Major Stages of Innovation 15
Table II - The Innovation Process 16
Table III - Measurement of the Creativity of Companies 38
Table IV - The Elements of Creativity 40

APPENDIX 51

NOTES 57

BIBLIOGRAPHY 59

FOREWORD

This paper is the fifth in a series of discussion papers prepared for a study of Canadian science education; the study was undertaken by the Science Council of Canada in the spring of 1980 and is supervised by the Council's committee on Science Education. This paper has three main objectives:

- to establish a documented basis for dealing with the current objectives and general characteristics of science education in Canadian schools;
- to analyze the history of science education in Canada; and
- to promote discussion of possible future orientations for science education.

As the third objective suggests, the Science Council has not yet formed an opinion concerning this reorientation, although it is endeavouring to do so by seeking the opinions of various persons responsible for science education. Council hopes that these opinions, presented in discussion papers that are disseminated as widely as possible, will encourage science educators and others involved to reconsider their objectives and methods. By participating in these deliberations and at the same time by conducting a systematic inquiry into current and past policies and practices, the Science Council hopes to gain an accurate understanding of the state and needs of science education in Canada, and thereby be in a position to formulate useful recommendations.

This document is one of a series of discussion papers that presents various different, if not mutually exclusive, views concerning science edu-

cation. In A Canadian Context for Science Education, James Page highlights the possibilities provided by science courses for making Canadians more aware of scientific matters. Glen Aikenhead proposes, in Science in Social Issues: Implications for Teaching, that the various sciences should be taught in such a way as to show students the relevance of each science and its limitations from the standpoint of social and political issues. In the third paper, An Engineer's View of Science Education, Donald George points out that in the development of science study programs little consideration has been given to the thought processes of engineers, while Hugh Munby's What is Scientific Thinking? examines, from a fresh perspective, how to make students aware of scientific reasoning and develop critical minds. He concludes by showing the importance of training students to be "intellectually independent."

In this discussion paper, Marcel Risi, Marketing Director of the Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), examines possible relationships between industrial innovation and science education. His approach is systematic and productively stimulating. Looking to the future with a completely open mind, he guides the reader to discover areas which are little known in the world of science education, but whose importance to the future of society is clearly established by the author. The paper concludes with a scenario that suggests a thorough reorganization of science education from a global perspective.

It should be pointed out that the views expressed in this paper are those of the author and do not necessarily represent those of the Science Council or the Council's committee responsible for supervising the Science Education Study. Nevertheless, the author presents a well-supported thesis. Its dissemination will make a contribution to discussion of the orientation of science education in Canada.

James M. Gilmour,
Director of Research,
Science Council of Canada

I INTRODUCTION: A NEW FORM OF DIALOGUE

The attempt to define what should be taught today in order to prepare students for the job market of 1990 or 1995 is really an attempt to define the future. However, no matter how much we may analyze, measure, project and extrapolate, the future remains essentially impenetrable. We must, therefore, begin on a note of modesty. A program about the 1930s was recently broadcast, in which a group of scientists, during that decade, was asked to predict future scientific and technological inventions of significance. They failed to foresee jet propulsion, the development and miniaturization of electronics, or nuclear energy - precisely those developments which were to transform our planet during the next quarter-century. It is clear, therefore, that any attempt to predict, not only the use or appearance of technological innovations, but also the resulting social implications, must take place within the context of futurology.

Attempts to foresee the future by considering contemporary conditions, perceived trends, indicated or intuited developments and analyses of experience to date, projected into the future in a rigorously scientific manner, will ultimately result in no more than a simple extrapolation. However, if particular care is taken in studying the developments, movements and trends that make up our everyday environment, and if to this is added that precious ingredient - imagination - the result will be prediction. The former is no more than a definition of growth, whereas the latter is a thought process that can be used to evaluate development.

We must remain aware that this study of the future may be based on two different perspectives, both of which have their limitations and should therefore be used in tandem. The first, which might be called descriptive and anticipatory, is aimed above all at understanding what conditions will exist in the future and what adjustments will therefore be necessary. The second is normative, and assumes that the future must be influenced in a desirable direction and that immediate steps should be taken to ensure the predicted results. If these two perspectives can be easily distinguished in logical terms, the distinction is far more difficult to make in practice, and studies of the future are usually encumbered by normative forecasts heavily disguised as descriptive. Under the pretext of putting into place today ways of adjusting to the future, we really succeed in putting into place the means that will influence the future.

Both perspectives are, however, linear. As Marshall McLuhan maintains in The Gutenberg Galaxy,[1] printing has had a permanent influence on the Western mind. Human beings have evolved from oral and regional culture towards a linear one (the image for which was provided by the alignment of printed characters in typescript). It could be said that culture runs from left to right and from top to bottom, or that it is transmitted through a long tunnel where only one-way traffic is permitted.

In accordance with McLuhan's famous dictum "the medium is the message,"[2] this paper attempts to discover a new form of nonlinear dialogue, one shaped by the new technology of instantaneous and diversified communication. A television set can receive some thirty channels that provide diversified information; in seconds, the viewer moves from one continent to another, from economics to comedy or war or sex or politics. Information agencies have extended their networks over the entire planet, gathering each particle of information and distributing it. This new dialogue, however, cannot be linear, because it derives from a complex of relationships of convergence and divergence between the "meshes" of the networks, much like a fishing net. It is the crossroads - individuals enter where they wish and depart in the direction they want.

The form of this paper is in keeping with this new dialogue. Readers will not be led by the hand, but by their imaginations and their capabilities - in the end, their desire to break through to new insights will be stimulated. The paper does not explain, it explores; suggests rather than defines; observes rather than debates.

The menu is à la carte. There are three sections: industry, technology and science teaching. If some parts of the paper seem to follow the traditional analytical, linear method, the reader should concentrate on the process of change in each section; the systematic aspect is crucial. Why? To rediscover "natural relationships" between widely differing systems, complex disciplines, unforeseen movements - to call into play intuition, imagination and questioning.

As the purpose of this paper is to provide material for consideration in science teaching, we propose to examine whether, for example, the intellectual current which sustains the process of industrial innovation could not be used in science teaching. One might also analyze whether the process of technological evolution could provide a model for science teaching. The floor is open for debate. The guardians of tradition are eager to slough off their atrophy and examine other methods, other processes and other intellectual relationships.

To stimulate the debate, the sections entitled "Convergence and Divergence" will present potential relationships or starting points for debate, a little like the custom of the "trou normand," in which a glass of spirits is served between courses to prime the appetite. It not only aids digestion, but enlivens the discussion!

It is worth mentioning that the choice of sections simply reflects the author's training and his observations as a university teacher and director of an industrial research centre.

The Macroscole is a scenario, or, as some maintain, a proposal for a holistic approach to science teaching. The Macroscole is the teaching crossroads of all disciplines; it has the potential to shape creative, rather than unified, minds and to provide an education that will be a point of departure rather than an end result.

Whether or not this exploratory paper results in any changes in science teaching, the systematic approach and crossroads dialogue will remain the essential elements of science education in the 1990s.

II INDUSTRIAL CHANGE

In postindustrial society, rapid change has become the norm, making innovation essential to the survival of any industry. Innovation works with other dynamic systems, such as population growth, the growth of markets, the accumulation of technical capital and the increase in human knowledge. The concept of innovation embraces a spectrum of complex and varied factors with imprecise contours. Because of this it is difficult to define precisely, although an attempt to analyze its component elements is possible.

First of all, it is important to avoid expanding the concept of innovation to the point where it becomes confused with that of change. The fact that men today may wear their hair longer is not an innovation, despite claims to the contrary. The process of innovation is normally defined in terms of its result - in other words the creation of a product, the attributes of which create values. A new process or system is thus of value to society if it produces greater convenience, comfort, safety, energy, aesthetic qualities and so on. Inventions such as gunpowder, printing, weaving, the cultivation of the potato and the sugar beet, bleach and the metric system represent undeniable innovations and have two characteristics in common: they were all new and they were all introduced into a specific environment.

Dictionary definitions of "innovation" are too general. More accurate definitions, some of which follow, can be found in the literature on innovation:

- Innovation translates ideas into productive machines and eventually into products;
- Innovation is a social phenomenon in that it modifies existing circumstances and includes an element of risk; it is a complex socioeconomic and technical process;
- Innovation is the process of converting an invention or an idea into a financial success;
- Technological innovation is the process by which an idea or an invention is introduced into the economy.

Without rejecting the above definitions, there is a more comprehensive one: technological innovation is the process by which an idea or an innovation that fills a (potential or existing) need is introduced into the economy so as to generate economic growth, exports and jobs.

At this point, three observations are in order.

First, innovation is poorly presented in science teaching and in scientific books, where the starting point is either the awareness of a fact (such as Newton's apple) or knowledge already acquired (such as Maxwell's laws). Science presents itself as remote from the needs of people, and the satisfaction of those needs is not the object of its endeavours. If scientific knowledge satisfies a need of some kind, at times this may even be regarded as a mistake by the practitioners. The image of science, transmitted by science teaching, is of a researcher in a white coat, ensconced in an ivory tower, cut off from human needs but deriving satisfaction from intellectual pursuits.

Second, this definition does not reflect the various stages from the birth of an idea to an invention that fills a need and is a commercial success. These are generally long, laborious, often frustrating stages, and in most cases extremely expensive. The process is a far cry from the image of the linear experimental method: observation - hypothesis - experimentation - scientific law.

Finally, innovation may evolve equally well from a company's production and marketing functions as from its research and development activities. Real innovation is the sum of at least three functions: creation, production and marketing. A company that is strong in research and development but weak in production and marketing may very well fail in applying a technological innovation. Consequently, when speaking of technological innovation, it is necessary to consider the total design process, along with entrepreneurial, managerial, marketing and financial performance. This constitutes a variable combination of the physical and human sciences which might be termed the science-mix, and is diametrically opposed to what happens in an educational system dominated by a dichotomy between the two groups of sciences.

The Innovation Process

The Function of Information

If it is true that the entrepreneur remains the catalyst who maximizes the probability of success in the innovation process, the most important function is that of information. It sets the process in motion by identifying the need as well as reinforcing the orientation of each succeeding stage.

Before examining the function of information in innovation, we should distinguish between two types of ideas with the potential to lead to industrial innovation. The distinction is accepted by most experts. On the one hand, there are ideas that are stimulated by knowledge of needs or problems (market pull) and, on the other, ideas stimulated by knowledge of a new technology (technology push). These two processes are, in fact, diametric opposites, since in the case of the former the goal is to find a solution to a problem and in the latter, to find applications for which a "solution" is known.

There are two essential questions about the impact of information in the process of industrial innovation. First, what information gives rise to an innovation, or, more precisely, what information leads to the birth

and development of new products by industry? Second, in what way has information contributed to the development of new products?

Three generally accepted statements, which have, in turn, provided the basis for other studies, can be advanced. The first two are more applicable to the phase in which ideas are generated, while the third, applies more to the problem-solving phase.

Statement 1 - The Birth of Ideas

Ideas oriented towards new products result more frequently from the identification of a need or problem than from the identification of a technique or a means.

Statement 2 - The Age of Applied Technology

The basic technology applied in innovations stimulated by technical possibilities is more advanced than that used in innovations stimulated by a need.

Statement 3 - The Hierarchical Sequence in the Search for Information

The search for information normally evolves from local and easily accessible sources (publications and reports), to secondary sources (communication with others) and finally to primary sources (analysis and experimentation). The first two are more significant in the development of innovations generated by technology than in the case of those based on need.

These statements are founded on data culled from a variety of reports. They reveal the need for the creation of a crossroads between upstream and downstream information and innovation, a convergence that should result in information.

Table 1 presents the chronological path of the major stages in the innovation of a process, product or service. Stages 2, 3, 4, and 6 are usually carried out by scientists, engineers and researchers, although it is worth noting that their work will never bear fruit for private industry or the public if the other stages are neglected. However, experts in the "human sciences" should be involved in all stages in order to evaluate the

costs, both those already assumed and those anticipated, to ensure the most effective evaluation of the ultimate impact of the investment, to modify the objectives in terms of customer need and to create the necessary capital.

Table 1 - The Major Stages of Innovation

Variation of time	1. Identification of customer need. 2. Generation of ideas or of an invention. 3. Review of knowledge and know-how in science, technology, economics and marketing etc. This is a feasibility study. 4. Development - Identification and solution of problems - Test and market study
Increase in cost	5. Establishment of risk capital.
Evolution of technology and of the socioeconomic environment	6. Change due to start-up - Design, engineering and tooling - Factory start-up and market launch 7. Marketing and sale of the new product, process or service. 8. Distribution to users. 9. Satisfaction of customer need and attainment of the corporation's objectives.

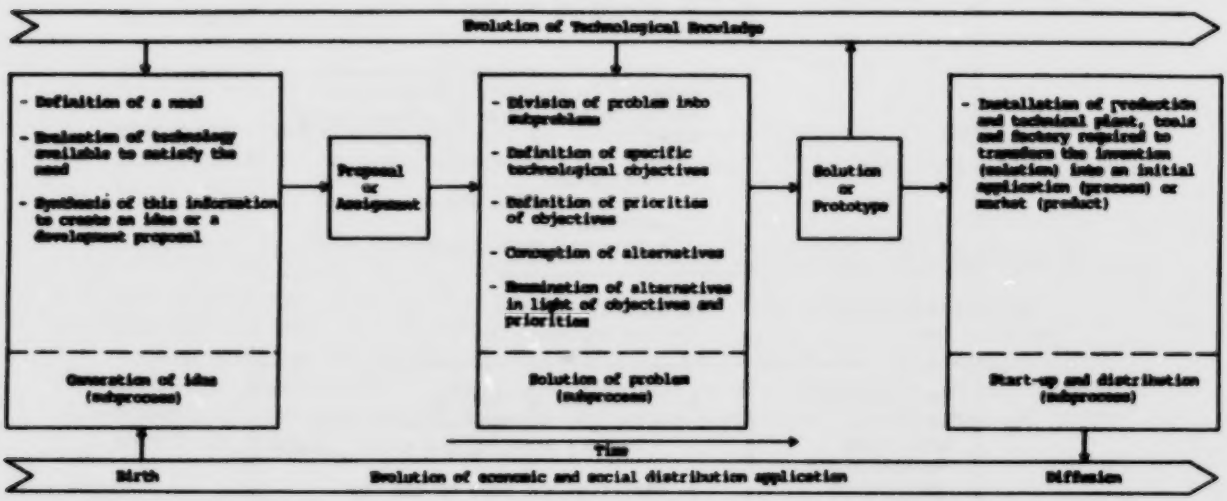
How can the stages described above be organized into a system? Several models have been proposed and analyzed, including the classic one - the staircase model - developed by Lionel Cox[3] of MacMillan Bloedel and submitted to the Lamontagne Commission. This model, which involves basic research, applied research, implementation, development, marketing,

business growth, job creation and profit, represents the same linear process that characterizes innovation in the relevant literature.

The Gruber and Marquis Model

The model with the most realistic parameters was proposed and developed by Gruber and Marquis[4] of the Massachusetts Institute of Technology (MIT). On the basis of industrial experience by Myers, Marquis and Utterback of MIT, it was subsequently refined and expanded upon.

Table II - The Innovation Process*



*Source: Gruber and Marquis, Factors in the Transfer of Technology, MIT Press, Cambridge, Mass., 1969.

In this model, the process of technological innovation is presented in the context of the real world with its political, cultural and social elements. The state of technological knowledge, as an integral part of scientific literature, seminars, modern techniques, patents, and catalogues of all sorts of elements, is one important aspect of this environment. The model suggests that technological knowledge is continually evolving in time, as indicated by the horizontal arrow at the top of the table. The economic and social aspects of the use of products, processes and services

is also an important factor, one defined by other companies in the same industrial sector, by competition, and by present and future users.

It is astonishing that this model also reveals the necessity of a good science-mix. This is the opposite situation to that found in most teaching methods, where there is a reluctance to create an explosive mix of creativity, not only between various disciplines, but even within the same discipline. As a result, physics is always taught by separating such aspects of the subject as, for example, statics, cinematics, dynamics, optics and electricity.

The Practical Implications

When the statements on the use of information are related to the model of the innovation process, the practical implications are interesting. These could be compared to certain so-called well-founded opinions that are very popular in educational circles.

In relation to the phases of the innovation process, we can conclude that:

- Information usually originates from outside the company during the generation of ideas phase (Statement 1) and the use of internal sources predominates during the problem-solving phase (Statement 3);
- Verbal communication is the most important source of communication in both phases (Statements 1 and 3); and
- The search for information is more highly structured during the second phase than during the first (Statement 3).

In relation to the sources of information, we can conclude that:

- The generation of a new idea is usually stimulated by the identification of a need or problem, followed by the identification of the technical resources that could satisfy the need or solve the problem (Statement 1); and

- In the minority of cases where ideas are stimulated by technology, the technology is recent and most of the information used originates in publications and technical consultations from outside the company (Statement 2).

In relation to the organization of this model, two critical factors should be taken into account:

- the integration of commercial and economic information with technical information (Statement 1); and
- analysis and communication of needs and problems (Statement 2).

Would it be a useful exercise to analyze a number of textbooks, which are basic sources of information, to see whether they meet any of the requirements expressed here? Is the answer inherent in the question, or does the question disturb intellectual complacency and the comforting round of daily repetition?

The Function of the Entrepreneur

In Gruber and Marquis' model, innovation results from a satisfactory relationship among four functions: information, research, production and distribution. The relationship is affected by the evolution of technology and the socioeconomic environment. The point at which these four functions intersect is the domain of the entrepreneur, the "venture manager" and the innovator.

If business people understand their role properly, they will stimulate creative behaviour on the part of the entire innovation team. According to Cox,[5] technological entrepreneurs or venture managers have the reputation among company management of getting things done. They (the entrepreneurs) are well aware of how an idea is born, evolves, is financed, marketed and managed in order to create a new and profitable undertaking. They take risks and dare to be different. They are impatient with delay, very sure of their own abilities and respectfully sceptical of what is already known. Their immediate superiors often regard them as hard to handle,

excessively frank and sometimes abrasive; but for their subordinates, they are sensitive to and understand what motivates those with whom they come into contact. The entrepreneur is a catalyst who succeeds in transposing science and technology into the marketplace by his or her enthusiasm, courage and persuasive tenacity.

It is quite clear from this description of entrepreneurs that they are not only key figures in any innovation process, but also are generally quite different from researchers. They can, nevertheless, be either stimulated or crushed by certain aspects of their environment. Entrepreneurs must work where there is decentralization and delegation of responsibility because excessively rigid policies or onerous supervision can create a hothouse atmosphere that stifles risk taking. They are also in mortal danger from the finance-accounting syndrome, endless meetings, vague communication and bureaucracy. This type of management creates good managers but not entrepreneurs. In other words, <u>good management and entrepreneurship are not necessarily synonymous</u>.

Convergence and Divergence

- *Might the entrepreneurial model be applied to our educational system?*
- *What educational activities could be created to simulate the behaviour of the entrepreneur?*
- *How can an entrepreneurial profile be developed in a student while retaining his or her acceptability to other students?*
- *Might the innovation process, either in its entirety or in some of its aspects, serve as a model for teaching a science-mix, given an integrated approach to the teaching of the physical and human sciences?*
- *Can science teaching be "market pull," i.e., oriented towards responding to questions or needs, or can it only be "technology push," presented as a solution to future problems?*
- *If a teaching model of the science-mix type is accepted, how can chemistry and marketing be taught in the same course?*
- *Because innovation generally makes use of recent technology, why not teach only "new technology"? What would be the point of teaching Bohr's model of the atom?*
- *It has been established that the structure of thought transposed to textbooks provides a framework for and forms the thought processes that the student will subsequently use. However, it has also been established that verbal communication is more important than written in the stimulation of creativity. So why write textbooks? Should not teaching ignore the written word?*
- *What would be the practical implications for science teaching of the three hypotheses about the function of information?*

The Origin of Inventions

Innovation is a process, managed by an entrepreneur, who uses information as raw material to be processed. If these were the only conditions necessary to create an innovation, it would be a simple matter to reproduce them "in vitro." But there is a snag. People are not machines with predetermined characteristics for the purpose of production. They are infinitely diverse individuals in terms of both their abilities and their limitations. Therefore, the entire company is involved in the process of innovation.

Studies, in general, have shown that innovative companies have special characteristics. These relate to four aspects of their organizational structure and resources.

Decentralization of Authority

The first characteristic, which lies buried under a substantial number of prejudices, myths and contradictions, is the decentralization of authority. Many companies believe that by decentralizing their operations they have achieved decentralization of authority. Decentralization of authority, however, involves a great deal more than the mere decentralization of factories, supervision and responsibilities. Authority is the freedom and ability to choose. Authority is truly decentralized when individuals can choose for themselves the appropriate methods and techniques to achieve an objective, and can even choose their own objectives within the company's overall development plan.

Capacity to Absorb Mistakes

A corporation must recognize the inherent risks in innovation and the high possibility of failure. Financially it must be able to absorb errors that result from creativity. Otherwise it will survive only if there are no mistakes in the short term and will limit the scope of its exploration to immediate problems.

Flexible Communications Network

A number of catalysts stimulate the innovation process. The most important is communication, for the creators must be in constant contact with even the most insignificant aspects of the organization and its environment.

James R. Bright[6] has carried out a study in which he analyzes a series of inventions that came, not from the industries in which they would normally have been expected to originate, but from unexpected sources. For example, nylon, a synthetic fibre, was created by DuPont, a chemical company, and not by the textile industry. Because of its closed system, the textile industry would not have welcomed the innovation, regarding it as outside its own field and therefore constituting a potential danger. DuPont, however, built factories for the new fibre.

The study also analyzes a list of 18 important innovations launched by DuPont between 1920 and 1945. Only five of these had no connection with any outside source, while the others originated with the purchase of patents which were subsequently improved upon, either because the exploitation of risks had revealed unexpected uses for the product, or from contacts with consultants, suppliers or customers.

There is no serious, tenable way to justify a rigid or restricted communications network. Most innovations are dependent on flexible communications - an essential stimulus for creative minds.

Management of Human Resources

In addition to these three characteristics related to organization, any company that wishes to be innovative must also make, as one of its prime concerns, policies concerning the management of human resources.

Obviously a company must hire creative individuals. Because creators are often unconventional and a little strange, they work differently than others. The company must encourage their integration by creating a place for them within the organizational structure.

Industry is on the threshold of a dramatic change in human resource management. Managers will be required to mix technology and human values judiciously. Increased productivity is the revolutionary slogan that will sweep away companies that fail to adapt. The road may be long.

In the United States, as in Canada, productivity growth in the economy has, in general, been poor in recent years. While technological progress may help to improve productivity in some sectors, it must be supported by people with the correct skills. For example, many experts anticipate that by the year 2000 many factories will be controlled by computers. A number of social as well as economic factors, which the experts claim are readily apparent today, are encouraging this trend. As far as economics is concerned, low productivity results from the substantial waiting period between the various operations carried out at each stage of the assembly line. The real time during which a machine is in use could therefore be increased. Social incentives for automation include: growing resistance among workers to a work environment in which they are exposed to health hazards; employers' awareness of the need for job satisfaction; and governments' increasingly widespread concern over job safety. To these factors must be added the fact that the technology required for this high degree of automation now seems feasible, thanks to the rapid upsurge in the capacities of digital computers, the use of integrated circuit systems in manufacturing, grouped technology and modular manufacturing.

A complete rethinking of the management of people is needed. But how can people, educated in a linear, binary, segmented or disembodied system, develop integrated thought processes and judgement that take a variety of factors into account? Should we consider a return to "classical education," a suggestion implied in some American studies that indicate that the best managers are generalists?

Convergence and Divergence

- *Could teachers be given sufficient autonomy to propose changes in courses and the relative importance of each course?*
- *How can students be helped to discover their abilities and limitations?*
- *Is the present educational system adequate in light of the need for integrated knowledge in a world dominated by the goal of high productivity? Should the physical sciences be eliminated in favour of the "human sciences"?*

A Typology of Innovation

Innovation is both a process and its result; it is also the catalytic effect of the entrepreneur, the transformation of the raw material - information - and the adjustment of organizational parameters to encourage the synergy of human relations.

The above immediately reveals a diversity that is hard to identify without the broad outline of a typology to specify the content of innovation and attempt to classify its main categories. The typology we propose deals with the nature of innovations, and thus with the products of innovation.

It should be mentioned that it would have been possible to classify innovations either as a function of the degree of innovation or as a function of their process. Three characteristics are generally recognized in relation to the degree of innovation: first, radical or absolute innovations (such as the transistor); second, relative innovations (such as plastic extrusion techniques in relation to metal extrusion techniques); and finally, initial imitation innovations (such as the manufacture in Québec of beer spigots copied from a new French product). Moreover, if we

concentrate on the process of innovation rather than on the product, we must also consider the factor of anticipation that distinguishes pro-active innovation, which shows a company has anticipated the developments in its environment, from reactive innovation, which consists of finding a new solution to a problem that has become awkward.

Unfortunately, these distinctions give the impression that contemporary education, which encourages the acquisition of traditional knowledge, encourages innovation. This is far from being the case. We must develop in the student the mindset of the innovator who must respond to a wide variety of information; this becomes clear if we examine the nature of innovations.

Let us therefore look at a more practical classification based on the nature of innovations. The various categories should not be regarded as hermetic, for most innovations result from a combination of the elements within each category. For the sake of convenience, however, the major distinguishing features of the innovative product have been singled out.

First, is the major group - technological innovations - which consists of the following seven categories:

New substances or raw products:

stainless steel, DDT, formica, penicillin, polyurethane, nylon, the semiconductor;

New components, elements or subsystems:

the transistor, printed circuit, velcro, the safety windshield, radial tire;

New finished products, from the simplest to the most complex, based on one or two simple principles:

the ballpoint pen, contact lenses, the interchangeable blade razor, the electric toothbrush, the birth-control pill;

New complex systems, which, with varying degrees of originality, combine more or less new elements in a set of scientific principles:

colour television, the air-cushion train, automated computer-controlled warehouses, optical readers attached to cash registers;

New modifications, which make the product easier to use and transport, or increase its convenience:

shoe-polish in a tube, disposable toothbrush, frozen puff pastry, instant coffee, aerosol depilatory, the lubricated condom;

New ingredients (raw materials, energy sources), the use of which make it possible to produce the same or a similar product with a different output:

geothermal energy, wind-generated electricity, scrap metal, rigid plastic as a substitute for aluminum, dielectric plastics;

New processes using new equipment:

oxygen steel-making, floated glass, laser cutting of fabric, nonwoven fabric, radiography of wet fabric through ultrasonic transparence.

Next is the large group of commercial innovations, where the innovative aspect is to be found essentially in the "downstream" operations, in other words, the marketing aspects. This major group has five categories:

New format for a product:

the pocketbook, original packaging design which changes the perception of the product;

New distribution methods for a product:

the sale of plastic articles at women's parties (Tupperware);

New applications of an existing product:

the birth-control pill, drive-in movies;

New methods of sales promotion, which involve the idea of an original public relations or advertising campaign:

the most striking example of this was unquestionably the advertising campaign that said only: "There will be no advertising";

New commercial systems:

the "cash and carry" system, the supermarket, the credit card, leasing of industrial equipment.

The third major group covers innovations in the organizational structure of the company, in its procedures and its development patterns. These are organizational innovations:

- the PPBS known by the expression "rationalization of budgetary options";
- the matrix organizational structure;
- automatic debiting of a budget;
- negotiable room rates for hotels;
- manufacture under licence.

Finally, there are public sector institutional innovations that generally result in the establishment of new standards and thus of new systems designed to further socioeconomic progress. Some examples are:

- the elimination of the sales tax on consumer products;
- tax deductions for R&D expenditures;
- legislation concerning cooperatives.

This typology was developed in the course of a study conducted jointly by the Délégation générale de la recherche scientifique et technique/Scientific and Technical Research Board (DGRST), the Institut français de gestion/French Management Institute and the Bertin Corporation. From the typology, the following conclusion can be drawn: the process of industrial innovation reaches far beyond the so-called physical sciences to draw, in most cases, upon knowledge and experience related to the human and administrative sciences. Consequently, the information sought is just as likely to be available at the basic level of information in catalogues and even in the yellow pages of the telephone book.

Convergence and Divergence

- *Would it be possible to develop a typology of courses based on their possible impact on various forms of innovation?*

- *Is science teaching the only branch of education leading to industrial innovation? What relationship should there be between science teaching and the teaching of other disciplines - in particular, history, geography and French?*

- *In that the analysis of the nature of innovations reveals the active interdependence of the physical and human sciences, would it be possible or beneficial to develop new courses or variants of courses that would enable the student to develop an innovator's profile rather than intellectual knowledge and abilities? After two decades of decline, is a "classical education" really so poorly adapted to society's needs?*

III THE TECHNOLOGY OF THE 1990s

President Kennedy's claim that the United States would put "a man on the moon by 1970" was greeted with extraordinary enthusiasm and stimulated society with a vigour unparalleled in the intervening decade. It is doubtless fanciful to try and anticipate what cause or topics might potentially generate new motivations and new ideals in the field of science and technology in the approaching decades. They will, however, probably be related to the quality of life and to the major problems of the world, to the extent that these, on the basis of present circumstances, can be speculated on. Some observers are beginning to alert public opinion to the dramatic increase in the importance of such questions as population, food supply, nonrenewable raw materials, the environment and energy. The resources of science should be enlisted to help manage these issues.

Training young people who will have to confront a working environment evolving so rapidly that the knowledge they have acquired is frequently obsolete or no longer required is one of the challenges facing education. Education today must anticipate an often unforeseeable future. Let's attempt to imagine the future, at least as far as technology and its implications for daily life are concerned.

Energy

The new energy situation has begun to influence the behaviour of companies and, given the gradual exhaustion of certain resources and the substitution of new forms of energy, there is no doubt whatsoever that it will continue to do so over the next few years. Those industries quick to turn towards

more abundant sources or sources with a greater security of supply will rapidly gain a competitive edge.

All the forecasts agree on one point: the cost of energy will increase at least as fast as the cost of other commodities. In the immediate future, conservation has the greatest potential for regulating the looming energy crisis, since new sources of energy will not be available until 1990 at the earliest, even assuming that research is undertaken immediately.

Products that use oil as an ingredient rather than as a source of fuel will be most directly affected by the crisis. Consequently, there will be opportunities for innovation in companies manufacturing products from oil substitutes. There will be similar interesting prospects in the primary energy sector, and in the design of equipment for the conservation or more efficient use of energy in the manufacture of goods. In future, it will be necessary to discover how to ensure greater security of supply in areas such as the transportation and storage of energy and in the use of a mix of energy sources.

Generally speaking, energy-related research will remain very active, especially since, given the present state of technology, it is impossible to make a definitive choice among alternative energy sources. Moreover, the need to accumulate research results in all fields will be felt for many years. We can anticipate that this area will continue to account for approximately one-third of all civilian research and development expenditures.

Convergence and Divergence

- ***What relationship can be observed between the energy situation and the teaching of biology?***

The Environment

Independent of, but concurrent with the energy crisis, is the state of the physical environment, which is gradually deteriorating as a result of increasing economic activity. For example, the general degradation of the natural environment is a consequence of the chemical products and pollution produced by industry. The most recent manifestation of the widespread extent of pollution, hitherto assumed to be an urban phenomenon, is acid rain, which destroys life in lakes and on agricultural land. Pollution is now everywhere. The energy crisis will exacerbate the process, either by encouraging governments to lower standards and regulations to permit the use of those energy sources considered harmful to the environment (such as coal and the production of energy from nuclear power stations), or by industry's recourse to means of production which will further pollute the environment. Despite everything, environmental regulation and monitoring will continue and industry should continue to adapt to the regulations.

Giant steps have been made during the past decade in the area of environmental quality control and, in general, the public has supported them. Environmental protection movements and protest groups are and have been active. At the same time, however, economic considerations have exercised a powerful restraining influence on environmental quality control. It is therefore expected that a certain level of pollution will necessarily have to be accepted. Particular standards will be abandoned if their cost is prohibitive, even though they would result in complete protection in terms of health. However, there is also greater concern with the accuracy of such conventional evaluations. Questions are being asked, for example, about the best way to judge the benefits to the national economy of industries and services based on the protection of the environment. Pollution may well create a new and profitable industry.

Convergence and Divergence

- *What are the elements that pollute the educational environment? What criteria can be used to establish a "tolerance level"?*

Biotechnology

The stuff of dreams . . .

The biotechnical revolution will have a radical impact on agricultural methods and the food industry. The era of bacteria is upon us, providing human beings with new allies or perhaps new slaves - it all depends on waste.

Biotechnology is defined as "the use of a biological process either within microbic organisms, or in vegetable or animal cells or their components, in order to produce goods and services" (Rapport Brossard).[7] It is the use of the infinitely small to meet our infinitely large needs.

Biotechnology employs extremely complex techniques:

Genetic engineering enables a microorganism to acquire new genetic properties and thus the ability to produce a new substance, to serve another purpose, or to alter a particular substrate;

Enzymes and enzymatic systems find a new application in health care; in the past they were used primarily in the food and detergent industries;

Cellular fusion provides the opportunity to fuse two cells to produce a hybrid. There are a multitude of potential applications for this process, in agriculture, forestry and medicine;

Vegetable cell culture enables vegetable cells to be cultivated "in vitro," producing agents used in the manufacture of medicines;

Process and systems engineering revolves around the development, regulation and control of new processes in bioengineering.

The term biotechnology is a new leitmotiv in both scientific publications and in economic and financial periodicals. Risk capital is starting to flow slowly away from electronics and microelectronics into the direction of biotechnology. Probably the market will reach maturity in one or two decades. Here again, the risk of missing the boat is high if education remains oriented towards the past and is transmitted within a compartmentalized system. Managers in the field of biotechnology will need the ability to judge parameters derived from both the exact and the human sciences within the overall framework of social morality. Any society bears the responsibility for the monsters it creates, whether they be nuclear or microbic.

Convergence and Divergence

- *What sort of eco-ethic must be developed in students so that biotechnology will be used to improve the quality of human life?*
- *Should ecology be "taught"? Can ecology be classified as a human or a physical science?*

The Redeployment of Technology

The Lamontagne Report's[8] cry of alarm, "Innovate or perish" is still appropriate. However, innovation is not only technical - it involves other kinds of knowledge and human activity. In consequence, more attention is being paid to improving research management through detailed analysis of the impact and rigorous evaluation of the cost of the resources employed. Researchers themselves are increasingly required to question the finality and the possible consequences of their work. This they are doing with great intellectual honesty and, admittedly, because of the pressure of vigilant public opinion, they are also sometimes subjecting themselves to regulation. One recent striking illustration is the restrictions placed on

genetic manipulation. The question is whether this rather fragile balance between researchers and the public can be maintained if substantial industrial interests are involved. In the eyes of society, scientific progress has become subject, if not to actual control, at least to a permanent scrutiny that will inevitably affect its development. At present, this trend is apparent in a very general way in both government and private sector R&D programs.

This brief outline of the path that technology will have to take in finding solutions to energy, environmental and biotechnological problems is indicative of a new situation: the psychological revolution, the initial elements of which are visible in both researchers and the public.

In the early 1960s, Teilhard de Chardin, in his work The Phenomenon of Man,[9] was the first visionary to call this revolution a successor to the agricultural revolution of ten thousand years ago and the industrial revolution of less than three hundred years ago. He saw this psychological revolution as the outcome of our philosophical and spiritual evolution. Recently, Alvin Toffler, in The Third Wave,[10] after examining such diverse fields as the economy, energy, psychology and communications, discerned the first signs of a profound change in human mentality.

For Toffler, throughout the second wave set off by the industrial revolution, work was systematized and compartmentalized. In accordance with the Judeo-Christian concept that work was a painful duty rewarded in the hereafter, the ideal employee was docile, punctual and tolerant of routine. The educational system encouraged this behaviour by rewarding the studious and budding geniuses; the university and state supported it by distributing medals with the inscription bene merenti (to the well-deserving) to their dutiful employees; and industry rewarded it by presenting a commemorative plaque to employees for 25 years of loyal service.

Certain features of the psychological revolution should have a direct influence on work and teaching methods. One influence involves the

employee who demands a more varied workload and greater responsibilities. This is the reason for the popularity of part-time work and flexible hours, both of which remove the unconditional acceptance of uniform behaviour. This rejection of uniformity should also give rise to new structures in school, although little attention has been paid to this aspect of education. Perhaps teachers should be the first to discard the mask of stereotyped behaviour.

Given the growing complexity of technology, however, schools have the responsibility of training people to be capable of understanding the way in which their specific tasks fit into the overall scheme of things and also to adapt more rapidly to change. One response to this challenge is the cooperative teaching system adopted by some universities. Schools should follow this example. Here again, research is needed.

The models of authority of today will disappear. At present, each employee is responsible to a single superior within a structured hierarchy. A number of progressive organizations have already introduced a far more complex hierarchy, in which work methods are based on the principle that ideas are produced from a clash of minds and where a great deal of importance is placed on divergence of opinion. In consequence, employees and students who are intellectually independent, aware of their social responsibilities and demanding in their attitude to authority will become indispensible to the organization or school in which they are today regarded as disturbing influences.

Will the process of innovation always occur in response to a need? Is this a truly positive factor? Is this relevant to what is really important to the employee, the employer and the consumer? Is the cost always justified, or is the price of a product artificially inflated on the pretext of innovation and the desire to increase profitability? Does this type of innovation not result in a more difficult and more expensive management of goods, since repairs become more complicated and demanding in terms of manpower? Have the consequences for health and the environment not been

pushed into the background on the pretext of innovation? If all these questions are valid, it is because there are misguided innovations. Innovation has hitherto been concerned particularly with the need for profitability and has often neglected more basic social needs. From this point of view, it is but a short step to banning innovations. This is not a viable option, as innovations have already made, by providing a more comfortable life, a substantial contribution to the conditions under which we live and work. There can, therefore, be no question of simply limiting the development of innovations a priori. However, development should be placed under surveillance, put on parole so to speak, while attempts are made to give it direction and place it in the proper framework.

Perhaps this constitutes a new goal for education: train young people so they will be able to find compromise solutions between diverse and complex elements. This would require the adoption of educational methods which are far more synthetic than analytical.

Convergence and Divergence

- *Is the psychological revolution an illusion?*

IV THE TEACHING OF SCIENCE

Teaching today is linear - the ideas, developments and subject matter studied are all presented in a sequential manner.

This is the educational tunnel. In order to come out at one end, you must enter at the other. Worse, it is a one-way tunnel. "Sir, of what use is what you are teaching?" asks the student. "You are here to learn and it will be of use to you later," is the teacher's motivating answer!

The changes individuals must face throughout life, either passively or as initiators, can only be the result of a rational process. Adapting to these transformations requires a degree of creativity which itself results from knowledge, imagination and the environment. Here lies the essential function of education, with its direct impact on the scale and orientation of knowledge, and on the use and control of the imagination - to help cultivate the capacities of individuals so they will then be able to alter their environment.

Education in a rapidly changing environment should provide individuals, not with information on the way things are so that they can adapt to them, but rather on what they are so they can adapt their environment to themselves. Bernard Shaw wrote, in what was probably a prophetic vision: "The reasonable man adapts to the world. The unreasonable man tries to adapt the world to himself. As a result, progress depends on the unreasonable man." Paul Valéry phrased it similarly: "In the profession of philosophy, it is essential not to understand."

Just as our earlier exploration of industrial change and technological development singled out only those elements that affect society, we shall in this section attempt to consider education in the same way - as a dynamic system, a process that transforms input into output.

The Process of Creativity

If there is any truth to one of the axioms of the Lamontagne Report,[11] "Innovate or perish," Canadians are destined to perish! If the generally accepted criterion for measuring creativity is applied, Canada lags far behind other industrialized countries in this area.

One of the indicators for measuring the creativity of companies is the number of patents applied for each year. The figures obtained, however, demonstrate the degree of industrialization of a country and not its creativity, which should be related to the company. A more sophisticated indicator, calculating the number of patents by year and by engineer or technician employed in research, has emerged. Table III uses the United Nations (UN) and DGRST (Délégation générale à la recherche scientifique et technique). The 1971 data for Canada were provided by federal agencies.

Table III - Measurement of the Creativity of Companies

Country	Number of applications	Number of researchers	Number of patents by year and by researcher
Japan	78 500	396 000	0.19
Germany	33 000	270 000	0.12
Austria	2 600	23 000	0.11
France	14 000	139 000	0.10
United States	76 000	752 000	0.10
Canada	1 850	52 600	0.03

Despite its imperfections, this indicator shows that France lags 20 per cent behind Germany and 47 per cent behind Japan, a country known for its industrial ingenuity. The low figure for the United States reflects the importance of basic research in that country. Canada's miserable performance is due to a variety of factors, including the cost of development, foreign ownership of industry and the shortage of grant programs in comparison with other countries. Perhaps most important is the lack of teaching and work methods designed to stimulate and channel the creativity of individuals, regardless of age, sex or job.

The Profile of the Creative Individual

Studies have revealed certain characteristics of creative individuals; these have provided the basis on which many methods for stimulating creativity have been developed and successfully applied. In view of the importance of the subject and its implications for teaching methods, we felt it merited lengthier treatment. Appendix I contains additional details about both the characteristics of and teaching methods for creative people. Teachers would do well to become acquainted with them and learn from them, even though this would doubtless disturb the existing system.

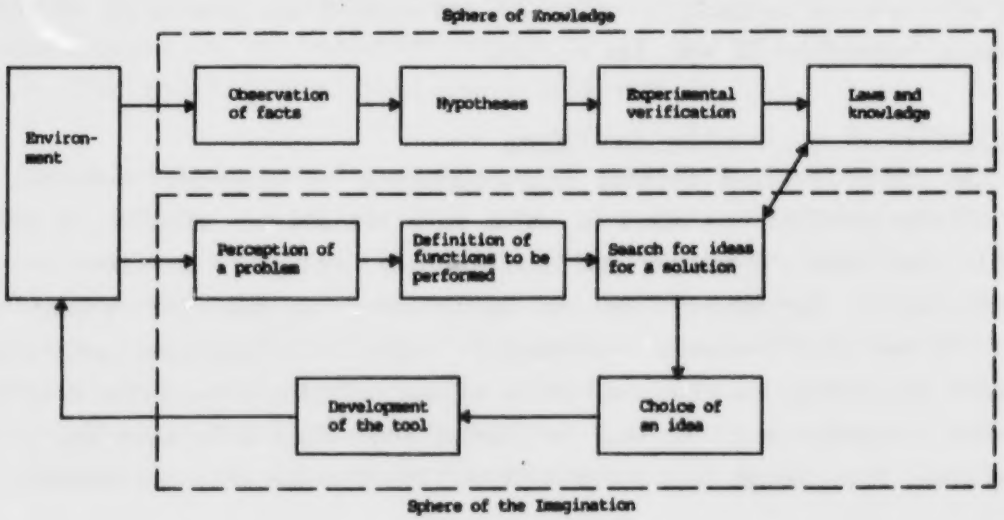
In sum, creative people possess great conceptual flexibility and prefer complexity. They are sensitive, but have their thoughts well under control. They are fundamentally independent and profoundly motivated. Communication is for them an essential condition of existence.

The Two Routes

We must understand the process of creativity in order to develop this profile of the creative individual. The process has been described frequently, in particular in Québec Science Education: Which Directions? (Les sciences au Québec: Quelle éducation?). In this work, the description of the creative process is based on a concept sufficiently broad that anyone can find his or her own place in it: "the environment of the individual" or "the world in which individuals live their daily lives." Two creative methods can emerge from such an analysis of the environment. Table IV

below shows a schematic presentation of the connection between the various elements of the two processes.

Table IV - The Elements of Creativity*



*Source: Québec Science Education: Which Directions? Science Council of Canada, March 1982.

Teaching generally uses the experimental method, as dictated by students' textbooks. Nevertheless, there is a fundamental error here: the process normally begins with "the spirit of curiosity" which observes a fact and asks a question. The classic example is Newton, who saw an apple fall and asked, "Why did it fall?" The student does not experience this curiosity, but is obliged instead to go through the experimental process, inevitably exclaiming at the end: "What use are all these demonstrations and all these laws?"

Then there is the heuristic method, an attempt to make students discover for themselves what the system wishes to teach and transmit. This method stimulates the imagination to arrive at "an understanding of what is"; it is used in some textbooks, but undergoes a "neurological mutation" when it enters the brain of many teachers and emerges in the form of the experimental method.

Both methods are limited to their common goal - the acquisition of knowledge - without teaching students why it should be acquired, except that "it will be useful one day."

Mission accomplished. The pitcher is full, but of what use is it? None whatsoever - for neither curiosity nor imagination have been stimulated. They have remained dormant throughout the entire process of acquiring knowledge.

Convergence and Divergence

- *How can the two creative processes be compared to the process of teaching science?*
- *What is the importance of the contribution of the physical and human sciences in each process?*

The Development and Influence of the Computer

Computers can process information, store it, and process it in real time. There has been an astounding increase in processing power, equivalent to the power of nine, from seconds to nanoseconds. Storage capacity (the amount of data recorded) has moved from magnetic cylinders to solid state systems that provide instantaneous access to several million characters. The introduction of magnetic media, from tape to discs, is without a doubt

the most important storage development. There is virtually no limit to the amount of information that can be manipulated in an interactive mode in a computer system.

The great disappointment of using computer technology lies in the inability to establish a real link between the user and the machine; it is still impossible to communicate easily with a computer-based information system. Most of the systems designed with this purpose in mind are still rudimentary and the input must be organized within a rigid structure. In-depth knowledge of the system, in order to guarantee its effectiveness, is also necessary. Recent developments, however, such as "artificial intelligence," open new horizons.

The use of minicomputers and microcomputers will soon be widespread. In five years' time, distributed processing, using one or other of the following structures, will be the rule. In the first, individuals will use small computers that are not interconnected and have no centralized control. The second will be based on a system of small computers with a form of centralized control. The advantage here will come from the use of mini or microcomputers as intelligent peripheral elements in a vast system. In any attempt to forecast the future, minicomputers and microcomputers are essential elements, as are computer networks and new uses for data bases.

The interface between the machine and the user is the second important element that will have a profound impact on information systems. This change will follow the evolutionary pattern of what is now called interface psychology.

The majority of users in the future will no longer be specialists - analysts, librarians, information science experts and so on. All the operations required of the operator at present are mental activities which are not "natural" for storekeepers, doctors, accountants, managers or civil servants. There is an urgent need to design "dialogues" for these future

operators. These dialogues should be interesting and intelligent, as this is the only way to achieve wider use of available knowledge and the ability to develop a distributed processing system. This will be the most important development of the next few years.

In the future, intelligent peripheral elements will be used as the interface between "man and machine" and as the creators of a dialogue between humans and machines. As a solution, it is acceptable both in terms of user psychology and cost; it will also produce a renaissance in education and profoundly change teaching methods. Unless they wish to accept a time-lag in the quality of the knowledge they pass on, schools should encourage computer-assisted teaching. However, it will be necessary to change attitudes based on preconceived notions, for it is not possible to transplant the content of current courses onto the computer. Moreover, it would be dangerous to regard the computer as a substitute for the teacher. The computer does not transmit knowledge. The computer itself should be studied in a way that is conducive to analysis and to knowledge of the learning process, because the goal of all teaching should be the learning process itself rather than the knowledge acquired. The objective should be: learn to learn. Ultimately, the computer should be used to simulate real-life situations by defining needs and to search for new methods for problem-solving. There is no single solution to a simulated problem; there are only more or less effective solutions.

Convergence and Divergence

- *If the information and the knowledge is available on computer, what is left to teach?*
- *Which subjects can be taught by computer?*

V ONE SCENARIO: THE MACROSCOLE

In this paper we have presented three systems for studying the process of development and identifying certain determining factors, without drawing the necessarily logical, proven and linear connections between the whole and its parts or between the various parts. The reader is free to imagine whatever connections he or she wishes.

The purpose of this approach is to identify the salient characteristics of the industrial world, technological development and science teaching by examining the tentative gropings of social innovations, with their successes and failures, in order to arrive at a new project and a new scale of values.

A conclusion would be against the spirit of the crossroads dialogue. This type of dialogue does not lead to conclusions, but to possibilities - it defines an infinite variety of probable futures rather than a single future. The dialogue produces one of many scenarios, located somewhere between the probable and the possible, which are separated by political will, crisis, the psychological revolution and so on.

In our scenario, people will emphasize human relationships on the one hand and, on the other, the relationship between the individual and his or her natural environment: this is the ecosociety scenario.

The Ecosociety

In the ecosociety, the course of industry and industrial innovation will be set by bioengineering and ecoengineering; the mastery and imitation of microorganisms to produce food and chemical products will lead to less pollution, less energy-intensive and more easily decentralized processes of production.

While retaining the freedom essential to the stimulation of its ability to innovate and adapt to competition, a company will be subject to strict monitoring by consumer and user groups. Together with government, these groups will determine industry's ultimate goals.

The economy will be based on the service industry. It will have to abandon principles based on material goods in favour of an exchange of services; and substitute the fermentation of ideas for the fermentation of sales and business deals. Advanced communications will make it possible for minisocieties to communicate, and decentralized data processing will stimulate intellectual activity.

The industry of the future will be in balance, after a revolution in habits and modes of thought, with the goals of equality and justice in progress.

Ecotechnology

Biology will be the source of technology in the ecosociety. Biotechnology will determine the relationship between natural cycles and the metabolism of the "social organism." The reality of disconcerting, dangerous genetic manipulations, synthetic genes and modifications of the electronics of the brain will necessitate the creation of a new balance between science and politics and between science and morality.

Ecotechnology will encourage the recycling of energy and raw materials. It will result in more lasting products, and revitalize the crafts industry. Ecotechnology's two goals will be to meet human needs more effectively and to make better use of nature.

Ecoeducation

In its pursuit of balance, the ecosociety will provide ongoing education for everyone, regardless of age, so that citizens can acquire knowledge at their own speed. Acquiring knowledge will be based primarily on the games method, which defines a real situation and concrete needs and requires the player to suggest a possible solution. The computer will be an indispensable tool in the learning process, encouraging the acquisition of knowledge in a systematic way. Theory will not be taught, but will develop from knowledge acquired.

Ecoeducation will take place in "educational parks," extensions of museums of science and technology. It will reject the disciplinary approach to education and will unite the physical and human sciences. The age of the "school without walls" will encourage the explosion of quality and awareness, the conquest of inner space, creative learning and free access to knowledge.

Education, like industry, will become holistic. In corporations, for example, it is not enough to combine disciplines to find the "recipe"; rather the task is to learn to combine, integrate and prioritize information flowing from the real world.

This glimpse into the future is sufficiently concrete to discern the end of the power of the teacher and of logical relationships and the beginning of the power of the student and of creativity. People should become aware of their potential before what they learn can limit their

creative freedom. It may, therefore, be necessary to have the courage to burn, in a public auto-da-fé, all the textbooks which explain theoretical questions in a so-called logical sequence, putting the problems of application at the end of the chapter. This is the price that must be paid, the fundamental change that is required - students must be encouraged to think for themselves. Only then will they discover new frontiers.

Teaching should no longer create barriers, however logical in their conception, between human and physical sciences. Teachers will become sources of stimulation, based on their qualities as human beings, rather than being viewed as founts of knowledge. They will be the crossroads.

The Macroscole

The implicit suggestion of this scenario is that science teaching must become holistic. In keeping with the crossroads dialogue, education must cease to be a mosaic of structured disciplines. It must become a Macroscole and teach all disciplines within an overall framework.

The Macroscole has four characteristics:

- the education of people in harmony with their environment; hence the need for stimulation instead of teaching;
- the stimulation of the imagination through the enrichment of concepts and the avoidance of definitions that polarize the learning path; this entails a rejection of textbooks and the initiation of the use of the computer, with its ability to present scientific and human parameters;
- the highlighting of the importance of the relationships between very different disciplines, such as biology and economics, rejecting course compartmentalization and structuring;
- the use of the successive approach, which involves returning to the matter under study several times but at different levels, rather than a linear approach, which consists of learning A in

order to be able to understand B and so on, without ever learning to what use the knowledge can be put. It means the end of linear culture and the birth of the crossroads.

Convergence and Divergence

- *Can the centralized structures of contemporary education survive this type of revolution?*
- *What resources must be added to or substituted for traditional resources?*

A Final Thought

This paper is intended to explore issues rather than propose solutions. It observes the present situation of science teaching and suggests how the future might look. It examines varying degrees of convergence amongst relationships and stimulates the imagination to consider divergent possibilities.

However, the paper would be incomplete if it did not, in addition to the proposed transformations, provide solid arguments in favour of the status quo, stability and security. Charles Clark,[12] one of the great American experts in the field of creativity, has compiled a list of what he terms the "fatal phrases." These are common phrases, that result in the atrophy of imagination and provide good excuses for remaining firmly opposed to new ideas. Perhaps it is worthwhile considering them and adapting them to our individual situations.

"We have never done it like that before
. . . That won't work . . . We don't
have the time . . . We don't have the
manpower . . . It's not in the budget
. . . We have already tried that . . .
We are not ready for that . . . That's
fine in theory but can you put it into
practice? . . .Too academic . . . What
will the students think? . . . Someone
would have suggested it before if it
had been worth anything . . . Too mod-
ern . . . Too old-fashioned . . . We
will discuss that another time . . .
You don't understand our problem . . .
What do the Americans do about this? .
. . We have too many other changes at
present . . . It has worked fine like
that for 28 years, it should be all
right . . . What wild fantasy dreamed
up that? . . . All I know is that it
won't work . . . Let's form a commit-
tee . . . Let's think about this
question for some time and monitor
what happens . . . It's not our prob-
lem . . . The government won't accept
it . . . They will think we're crazy .
. . That won't work here . . . The
students will never accept it . . .
You'll never get management to accept
that . . . Don't go too fast . . .
Let's wait and see . . . The union will
scream . . . We'll get back to that . .
. Let's put it in writing . . . I don't
see the connection . . . That won't
work in our school . . . It's not in
the rule book . . . Nonsense . . .
That's political dynamite . . . It
looks good but I don't think it will
work . . . That's not part of the plan
. . . It's not covered by any of the
regulations . . . We've never tackled a
problem like this before . . . It will
increase the workload . . . That's not
our business . . . Yes, but . . . It
will increase the overall costs . . .
It's too late . . . It's too soon . . .
That will shock people . . . Nothing
will come of it . . ."

APPENDIX

The Profile of the Creative Individual and Techniques for Stimulating Creativity

The findings of a great deal of research have demonstrated that creative individuals share certain common characteristics. Ferrari[13] and Filiatrault[14] have examined all aspects of this question in their works. The essential elements are summarized below.

Intellectual Characteristics

Studies have shown that beyond a certain level, no correlation exists between the degree of creativity and IQ. The important intellectual characteristics of creative individuals include: the conceptual flexibility that enables them to move from frames of reference not obviously connected to each other; the originality which leads them to perceive, react and interpret differently from others (these two characteristics usually involve an abundance of ideas); the preference for complexity, which they regard as a challenge; awareness of a problem, which enables them to identify and define problems quickly; control of creative thought, which enables them to pass quickly from synthesis to analysis, from abstraction to reality, from the unknown to the known, from the hypothesis to the conclusion, from concentration to intuition, and from the conscious to the subconscious.

Personality Traits

Two characteristics underlie the creative individual's personality traits: independence and motivation. Creative individuals are basically inde-

pendent, a characteristic that leads them to defend their ideas passionately when they find themselves in opposition to the majority; to feel different from others and to strive to appear so; to identify authority as a conventional, arbitrary and temporary factor, whose opinion is neither final nor absolute, and whose judgement is valid only as a function of the value of its content; and, to accept, stimulate and express impulses easily. The independence of creative individuals frequently disturbs organizations which cannot cope with it. Nevertheless, the irritation this independence can produce is offset by their motivation to work. Creative individuals are motivated primarily by the tasks at hand and accord greater importance to the nature of their work than to extrinsic rewards such as salary and promotion. Because their thoughts are concerned more with a wider sphere, they will change jobs according to their interests and not interests according to jobs. They are attracted to the initial stages of the decision-making process and take longer to define a problem and generate alternative solutions. In contrast to a frequently expressed prejudice, they are well able to organize work in order to create.

Psychological Traits

Creative individuals are "communicators." Ferrari attributes the following characteristics to communicators: they are voracious but diversified readers; they establish and maintain a large number of relationships with colleagues outside their own departments and organizations; they participate in visits, conferences, fairs and exhibitions; they are essential and natural elements in any communications network; and their natures are easy, open and warm. There are many managers, however, who fear that increasing communications will be to the detriment of sacrosanct efficiency. However, research indicates that the contrary is often true: the more time that engineers or researchers spend in discussion with their colleagues, the more often these discussions take place; and the greater the number of colleagues involved, the greater is their efficiency.

Barriers

Even though senior management in industry and government is aware that creativity results in innovation, a relationship which in turn generates economic growth, creative individuals face many barriers. Economic barriers: the reluctance of corporations to invest real, present resources in individual activities - such as travel expenses - which would enable employees to participate in conferences to glean new ideas. Technological barriers: the fear on the part of management that success may give rise to new problems in the form of possible ensuing accessory technology. Organizational barriers: the hierarchic structure and formal communication channels of organizations which do not take into account that creative individuals function better when they are in contact with a variety of departments. Personal barriers: creative individuals are often in the limelight and offend convention by disturbing normal power relationships. Barriers of perception: defined judgement criteria and rules of action that are normally established to ensure the efficient operation of an organization in a stationary situation rather than to cope with change, the result of creativity. All organizations tend towards stability, whereas innovation causes imbalance; innovation is thus a constant threat to organizational procedures.

Creativity cannot develop behind these barriers, although they can be moderated in a startling fashion by certain common methods. As it would take too long to describe these methods, which are really techniques, we will only briefly outline them below.

Techniques for Stimulating Creativity

Free association techniques:

- brainstorming;
- synectics;
- bionics;
- Delphi method.

Structured techniques:

- check list;
- list of attributes;
- object in focus;
- morphological analysis.

Free Association Techniques

Brainstorming involves a circle within which a problem or a subject is discussed. Because of the freedom this setting provides, individuals can express all their ideas without being subject to criticism. Each individual's ideas act as stimuli for the others, generating, by association, new ideas. The proceedings are recorded or taken down in shorthand.

Synectics is described as "a functional theory designed to make conscious use of subconscious psychological mechanisms which govern every creative activity, developed to increase the probability that a problem will be properly put and properly solved through the knowledge of the mechanisms that must be called into play to arrive at innovative solutions." The principle behind this technique is that creativity is improved if people are aware of these mechanisms. The process consists of making the strange familiar and the familiar strange. It "renews" the individual's perception, especially of such things as personal analogy, direct analogy, symbolic analogy and analogy by fantasy. Synectics differs from brainstorming in that it permits criticism and does not attempt to arrive at a single new idea as the solution to a problem.

Bionics is basically a method of analogy which consists of observing living organisms in nature and deriving natural solutions to apply to human innovations. It is of particular value in fields where technology plays a major role.

The Delphi method is used mainly in futurology. Experts are consulted in a given field and, without bringing them together, a circuit is created among them using a process of continual feedback to arrive at solutions.

Structured Techniques

The check list is used in a systematic way to suggest alternatives or potential solutions. It is based on the fact that the generation of ideas is related to the association of known concepts within an individual's field of perception. Such lists are used commonly by airline pilots, astronauts, architects and engineers.

The list of attributes involves a detailed analysis of a product, service or process, compiled into a list of basic elements or attributes, each one of which is subsequently methodically reviewed using a free association technique.

The object in focus is used primarily to discover alternatives to modify an existing product, service or process, itself regarded as a fixed element with which the elements of the object in focus are associated. The method attempts to answer the question: what effect does object at home A have on fixed element B, considering in sequence all the attributes of A. For example, what is the effect of distance on communications, considering such factors as, for instance, vertical and horizontal distance, time required, distance to be covered, means of transportation and support needed for communication.

Morphological analysis consists of identifying the parameters of a problem and analyzing all the possible interrelationships within them. It is necessary to choose parameters over which some control is possible. This is a structured approach to decision making and problem solving. A problem with four parameters defined by eight flexible characteristics that can be affected would therefore have 4096 possible solutions, one of which might be a unique, original idea.

It is impossible to compare the effectiveness of the various techniques in terms of a specific field of research. There is, nevertheless, one fundamental rule: the technique or techniques which support the research effort must be used.

Convergence and Divergence

- *What are the relationships between the elements of the profile of the creative individual and the objectives of education in geometry, physics, chemistry, geography, English, French, ethics . . .?*

- *Which methods to stimulate creativity are potentially usable in teaching? Are there similarities between them and certain teaching methods?*

NOTES

1. Marshall McLuhan, The Gutenberg Galaxy, University of Toronto Press, Toronto, 1962.

2. Marshall McLuhan, Understanding Media: The Extensions of Man, McGraw-Hill, New York, 1964.

3. Forest Products Research Society, 27th Annual Meeting, Chicago, 1974, Lionel Cox, "Transfer of Science and Technology in Successful Innovation," unpublished.

4. W.H. Gruber and D.G. Marquis, Factors in the Transfer of Technology, MIT Press, Cambridge, 1969.

5. Cox, op. cit.

6. James R. Bright, Research Development and Technological Innovation, Richard D. Irwin Inc., Homewood, Ill., 1970.

7. Maurice Brossard, Biotechnology: A Development Plan for Canada, report of the task force on biotechnology to the Minister of State for Science and Technology, Minister of Supply and Services, Ottawa, 1981.

8. Maurice Lamontagne, A Science Policy for Canada, report of the Senate special committee on science policy, 4 vols., Information Canada, Ottawa, 1972.

9. Pierre Teilhard de Chardin, The Phenomenon of Man, trans. Bernard Wall, Harper, New York, 1959.

10. Alvin Toffler, The Third Wave, Bantam Books, New York, 1981.

11. Lamontagne, op. cit.

12. Charles Clark, Brainstorming, Dunod, Paris, 1971.

13. A. Ferrari, "Peut-on gérer l'innovation," Le Management, vol. 40.

14. P. Filiatrault, "La créativité," Commerce, 1974, vol. 76, pp. 36-47.

BIBLIOGRAPHY

Baker, M.R.; Siegman, J.; and Rubenstein, A.H. 1967. The effect of perceived needs and means of the generation of ideas for industrial R-D projects. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Transactions on Engineering Management 14:156-163.

Bright, J.R. 1970. Research development and technological innovation. Homewood, Ill: Richard D. Irwin Inc.

Brossard, Maurice. 1981. Biotechnology: a development plan for Canada. Report of the task force on biotechnology to the Minister of State for Science and Technology. Ottawa: Minister of Supply and Services, Canada.

Buetow, C.P. 1974. Evaluation of new ideas. Business Quarterly 39:35-36.

Carter, C.F. and Williams, B.R. 1957. Industry and technical progress: factors governing the speed of application of science. Don Mills: Oxford University Press.

Centre de recherche industrielle du Québec. Tour d'horizon sur les grandes perspectives technologiques des entreprises québécoises. Internal study. Unpublished.

Clark, C. 1971. Brainstorming. Paris: Dunod.

Coleman, J.S. et al. 1966. Medical innovation: a diffusion study. Indianapolis, Ind: Bobbs-Merril.

Collins, A.R. 1974. Nouvelles activités pour les organisations de recherche industrielle. Spectrum (British Science News) 114:15-16.

Cox, Lionel. 1974. Transfer of science and technology in successful innovation. Forest Products Research Society, 27th Annual Meeting, Chicago. Unpublished.

David, A. 1974. L'entreprise a besoin d'information. Hommes et Techniques 30:356-357.

Ferrari, A. 1973. Peut-on gérer l'innovation. Le Management 40.

Filiatrault, P. 1974. La créativité. Commerce 76:36-47.

Gersberger, P. and Allen, T. 1968. Criteria used by research and development engineers in the selection of the information source. Journal of Applied Psychology 52:272-279.

Gilfillan, C.S. 1964. The prediction of technical change, pp. 738-754. Edited by J.R. Bright. Homewood, Ill: Richard D. Irwin Inc.

Gruber, W.H. and Marquis, D.G. 1969. Factors in the transfer of technology. Cambridge: MIT Press.

Jewkes, J.; Sawers, D.; and Stillerman, R. 1969. The sources of invention. London: MacMillan.

Lachat, S. and Hiance, M. 1974. Détection de l'invention et protection de l'inventeur. Le Management 45:46-52.

Lamontagne, Maurice. 1972. A science policy for Canada. Report of the Senate special committee on science policy. 4 vols. Ottawa: Information Canada.

McLuhan, Marshall. 1962. The Gutenberg galaxy. Toronto: University of Toronto Press.

McLuhan, Marshall. 1964. Understanding media: the extensions of man. New York: McGraw-Hill.

Ministère d'État au développement culturel et scientifique. 1979. Pour une politique québécoise de la recherche scientifique. Official publication.

Myers, S. and Marquis, D.C. 1969. Successful commercial innovation. Washington, DC: National Science Foundation.

OECD. 1970. Écarts technologiques: comparaison entre pays membres. Paris.

Ordre des ingénieurs du Québec. 1978. Le défi technologique du Québec. Montréal.

Prévost, R. 1974. Nos gouvernements face à l'innovation industrielle. Québec industriel 29:25-27.

Reich, Irving. 1960. Creativity in research organization. Research Management 3:217-225.

Rigny, A.J. 1973. Structure de l'entreprise et capacité d'innovation. Hommes et Techniques. France: Éditions Puteaux.

Risi, M. 1982. Science teaching: an answer or a question? In Québec science education: which directions?, pp. 41-60. Ottawa: Science Council of Canada.

Ruzic, N.P. 1974. You can buy research dollars for pennies. Industrial Research 44:44-48.

Teilhard de Chardin, Pierre. 1959. The phenomenon of man. Translated by Bernard Wall. New York: Harper.

Teissier de Cros, A. 1971. Innovation et progrès. Paris: Ministère du Développement industriel et scientifique.

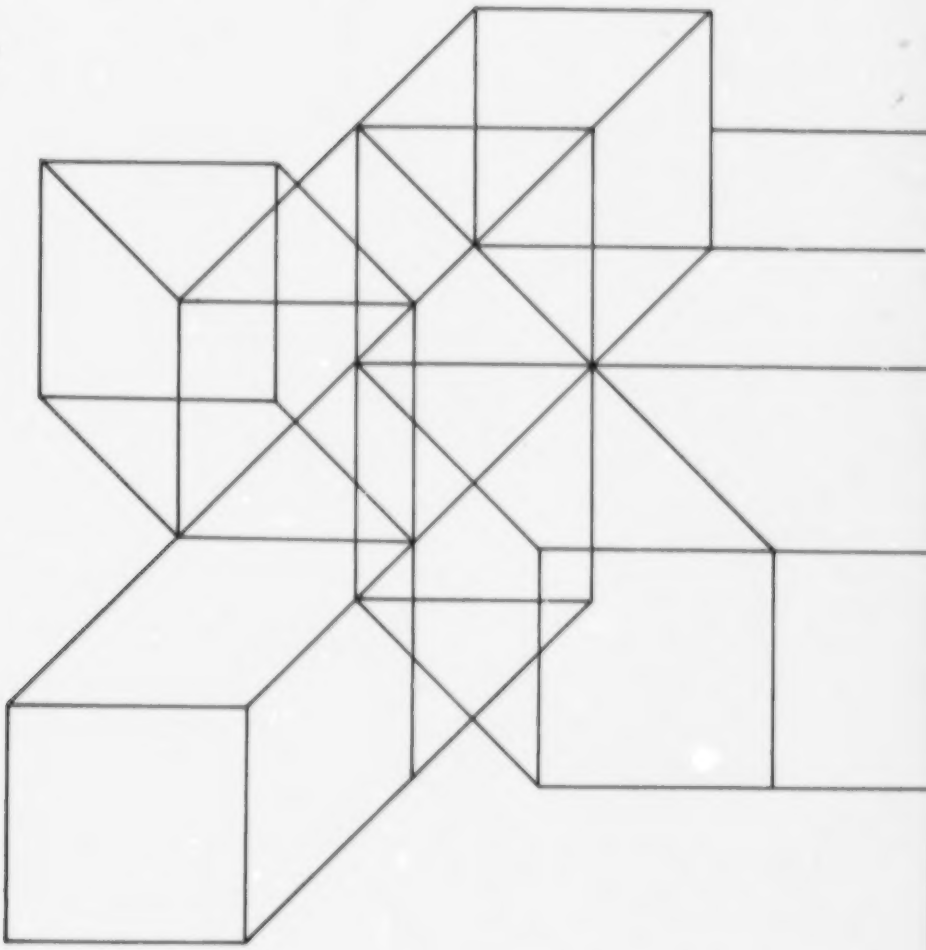
Toffler, Alvin. 1981. The third wave. New York: Bantam Books.

Conseil
des sciences
du Canada

La Macroscole

ou l'enseignement systémique des sciences

Exposé à débattre
par Marcel Risi



LA MACROSCOLE

ou l'enseignement systémique des sciences

Exposé à débattre
rédigé par Marcel Risi

Octobre 1982

Les exposés à débattre sont des documents de travail que le Conseil des sciences du Canada met à la disposition des personnes ou groupes intéressés, en quantité limitée, pour connaître leurs réactions.

Les vues exprimées dans le présent Exposé sont celles de l'auteur; elles ne reflètent pas nécessairement l'opinion du Conseil des sciences du Canada.

Vous pouvez vous procurer gratuitement des exemplaires de:

LA MACROSCOLE
ou l'enseignement systémique
des sciences

auprès du:

Service des publications
Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe,
Ottawa, Ont. K1P 5M1

Copies of *Macroscole: A Holistic Approach to Science Teaching* are also available free of charge

© Ministre d'Approvisionnements et Services Canada, 1982

N° de catalogue SS21-4/7-1982F
ISBN 0-662-91823-1

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS 5

I. INTRODUCTION: UNE NOUVELLE FORME DE DIALOGUE 7

II. LA MUTATION INDUSTRIELLE 11

Le processus d'innovation 13
Le rôle de l'information 13
Le modèle de Gruber et Marquis 15
Les conséquences pratiques 17
Le rôle de l'entrepreneur 19

L'origine des inventions 22
La décentralisation de l'autorité 22
La capacité d'encaisser les erreurs 23
Le réseau souple de communication 23
La gestion des ressources humaines 24

Une typologie de l'innovation 25

III. LA TECHNOLOGIE DES ANNÉES 1990 31

L'énergie 31

L'environnement 33

La biotechnologie 34

Le redéploiement de la technologie 36

IV. L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES 41

Le processus de créativité 42
Le profil de l'individu créateur 43
Les deux routes 44

L'évolution et l'influence de l'ordinateur 46

V. UN SCÉNARIO: LA MACROSCOLE 49

L'écosociété 50
L'écotechnologie 50
L'écoéducation 51

La Macroscole 52

Un dernier coup de pouce 53

TABLEAUX

Tableau I - Étapes principales de l'innovation 16
Tableau II - Le processus d'innovation 17
Tableau III - Mesure de la créativité des entreprises 43
Tableau IV - Les éléments de la créativité 44

ANNEXE 55

NOTES BIBLIOGRAPHIQUES 61

BIBLIOGRAPHIE 63

AVANT PROPOS

L'auteur a rédigé l'exposé qui suit pour les besoins de l'Étude sur l'enseignement des sciences au Canada, que le Conseil des sciences a entreprise au printemps de 1980 et qui est supervisée par son Comité de l'enseignement des sciences. Cette Étude vise trois grands objectifs:

- établir une base de données concernant les objectifs actuels et les caractéristiques générales de l'enseignement des sciences dans les écoles canadiennes;
- faire une analyse historique de l'enseignement des sciences au pays; et
- encourager le débat sur ses orientations possibles.

Comme le suggère le troisième objectif, le Conseil des sciences ne s'est pas encore formé une opinion au sujet de cette réorientation, mais il cherche à le faire en demandant l'opinion des divers responsables. Il espère que ces vues, présentées dans des exposés à débattre diffusés le plus largement possible, inciteront les responsables de l'enseignement des sciences et autres intéressés à reconsidérer leurs objectifs et leurs méthodes. En participant à cet effort de réflexion et en menant parallèlement une étude portant sur les lignes de conduite et la pratique, présentes et passées, le Conseil des sciences espère arriver à une juste appréhension de la situation et des besoins de l'enseignement des sciences au Canada, et être ainsi en mesure de formuler des recommandations utiles.

Le présent document s'inscrit dans une série d'exposés qui propose des visions différentes, et peut-être mutuellement exclusives, de l'enseignement

des sciences. J.E. Page, en écrivant Un contexte canadien pour l'enseignement des sciences, a mis en relief les possibilités offertes par les cours de sciences pour mieux sensibiliser les Canadiens aux questions scientifiques; G.S. Aikenhead propose, dans L'enseignement des sciences dans une perspective sociale, d'enseigner les sciences de façon à montrer aux élèves leur pertinence et leurs limitations à l'égard des questions sociales et politiques; D. George souligne, dans L'enseignement des sciences vu par un ingénieur, le manque de prise en considération des processus mentaux de l'ingénieur lors de la conception de programmes d'études scientifiques; H. Munby, dans "Qu'est ce que la pensée scientifique?", étudie d'un oeil neuf la sensibilisation des élèves au raisonnement scientifique et à l'esprit critique et conclut en démontrant l'importance de former les élèves à l'indépendance intellectuelle.

Dans le présent exposé, Marcel Risi, directeur commercial du Centre de recherches industrielles du Québec, examine les liens possibles entre l'innovation industrielle et l'enseignement des sciences.

Sa démarche est systémique, volontairement ouverte vers l'avenir et sainement provocatrice. Elle mènera le lecteur à découvrir des domaines peu connus par le monde de l'enseignement des sciences, mais dont l'importance pour l'avenir de la société est clairement établie par l'auteur. La conclusion de l'exposé, en forme de scénario, suggère un remaniement profond de l'enseignement des sciences, dans une perspective globaliste.

Il convient de souligner que les vues exprimées dans le présent Exposé sont celles de l'auteur, et qu'elles ne correspondent pas forcément à celles du Conseil des sciences ou de son Comité qui supervise l'Étude sur l'enseignement des sciences. Le Conseil estime, toutefois, que l'auteur présente une thèse bien étayée, et que sa diffusion contribuera au débat sur l'orientation de l'enseignement des sciences au Canada.

James M. Gilmour
Directeur de la recherche
Conseil des sciences du Canada

I INTRODUCTION: UNE NOUVELLE FORME DE DIALOGUE

Définir ce que l'on doit enseigner aujourd'hui à l'étudiant pour qu'il puisse être adapté au marché du travail de 1990 ou 1995 constitue une tentative de définir l'avenir.

Mais quoique l'on mesure, quoique l'on analyse, quoique l'on projette, quoique l'on extrapole, l'avenir demeure essentiellement impénétrable. Il faut donc tout d'abord faire acte de modestie. Une récente émission d'information rappelait l'expérience des années 1930 au cours desquelles on avait demandé à un groupe d'hommes de science de prédire les grandes inventions scientifiques et techniques des décennies à venir. Aucun ne prédit l'aviation à réaction, le développement et la miniaturisation de l'électronique et l'énergie nucléaire. Ce qui devait transformer la planète au cours des vingt-cinq années suivantes demeurait invisible. Ainsi, lorsque l'on veut, non seulement prédire l'utilisation ou l'apparition des technologies de l'avenir mais aussi l'impact des structures sur le milieu social, on entre alors de plain-pied dans le domaine ésotérique de la futurologie.

Prédire l'avenir à partir des phénomènes d'aujourd'hui, des mouvements perçus, des courants indiqués, des tendances pressenties, des expériences analysées, le tout projeté dans l'avenir d'une façon rigoureusement scientifique ne mènera au fond qu'à une simple extrapolation. Mais si, dans un effort particulier, on reprend l'étude de ces mouvements, de ces courants et de ces tendances qui forment l'environnement quotidien et qu'on y ajoute cet ingrédient propre à l'homme qu'est l'imagination, on en arrive alors à

faire de la prospective. Le premier processus de pensée amène à définir une croissance, tandis que le second permet d'évaluer le développement.

Il faut cependant demeurer conscient que cette étude de l'avenir pourra se faire selon deux perspectives, les deux ayant des limites et devant être utilisées concurremment. La première perspective, qui pourrait être qualifiée de descriptive et prévisionnelle, vise surtout à la compréhension de la situation future, et à mettre en relief les modifications à faire pour pouvoir y faire face. La seconde est la perspective normative: elle insiste davantage sur la nécessité d'influencer l'avenir dans le sens souhaité, et donc de mettre en oeuvre dès maintenant les moyens pour obtenir des résultats prévus. Si la logique permet de distinguer si facilement ces deux perspectives, il est beaucoup plus difficile dans la pratique de les différencier. Les études sont habituellement encombrées de prévisions normatives fort bien déguisées en prévisions descriptives. Ainsi en arrive-t-on, sous le prétexte de mettre en place maintenant des moyens de s'adapter à l'avenir, à mettre en place des moyens qui influenceront le futur.

Mais ces deux perspectives sont linéaires. Tel que soutenu par Marshall McLuhan dans La Galaxie de Gutenberg[1], la tradition intellectuelle de l'Occident a été constamment influencée par l'imprimerie. L'homme de la culture orale et régionale a évolué vers l'ère du linéaire, image de l'alignement des caractères d'imprimerie. On pourrait dire, de façon un peu caricaturale, que la culture va de gauche à droite, et de haut en bas! Ou encore que la culture se transmet par un long tunnel qui ne permet qu'une circulation à sens unique!

Selon la célèbre maxime de McLuhan, "le médium constitue le message"[2], le présent essai vise à mettre en relief une nouvelle forme de dialogue non linéaire, un dialogue qui soit façonné par les nouveaux modes de communication instantanée et diverse. La télévision permet de recevoir une trentaine de canaux qui fournissent une information diversifiée; en l'espace de quelques secondes, l'auditeur passe d'un continent à l'autre, de l'économi-

que à la comédie, à la guerre, à la sexualité ou encore à la politique... Les agences d'information étendent leurs "filets" à la grandeur de la planète, tel le pêcheur, pour cueillir chaque parcelle d'information et l'injecter dans les réseaux de distribution. Ce nouveau dialogue ne peut être linéaire; il découle d'un ensemble de relations, de convergences et de divergences du maillage des réseaux: il est carrefour. On y entre par où l'on veut; on en sort par où l'on désire.

La forme du présent exposé respecte ce nouveau dialogue. Le lecteur n'est pas mené par la main, il est simplement stimulé dans son imagination, sa volonté de dépassement et sa capacité d'effort. Cet essai n'explique pas, il explore; il ne définit pas, il suggère; il ne discute pas, il constate.

Le thème est "à la carte". Il est constitué de trois ensembles: l'industrie, la technologie et l'enseignement des sciences. Si certains éléments semblent bien "emballés" selon la méthode traditionnelle analytique et linéaire, ce qu'il faut retenir, c'est le processus suivi par chacun de ces ensembles pour se modifier. C'est l'aspect systémique qu'il faut percevoir. Dans quel but? Pour retrouver des "relations naturelles" entre des systèmes fort différents, des disciplines complexes, des mouvements imprévus... pour s'adresser à l'intuition, à l'imagination, à la contestation.

Le but de ce document étant d'apporter des éléments de réflexion à l'enseignement des sciences, nous nous proposons d'examiner si, par exemple, la démarche intellectuelle qui étaye le processus d'innovation industrielle ne pourrait aussi être utilisée dans l'enseignement des sciences. Par ailleurs, il faudrait aussi examiner si le processus d'évolution de la technologie ne pourrait aussi fournir un modèle pour l'enseignement des sciences. Le débat est ouvert, en autant que les tenants de la tradition veulent bien abandonner leurs préjugés et examiner d'autres méthodes, d'autres processus, d'autres relations intellectuelles.

De façon à stimuler ce débat, des sections intitulées "convergences et divergences" décriront des possibilités de relations ou des thèmes, et ce, un peu comme le "trou normand" ou le "cul sec" après un repas plantureux! D'une part, cela évite l'indigestion et, d'autre part, cela rend parfois la discussion plus animée.

Il est à noter que le choix de ces ensembles découle simplement du domaine de formation de l'auteur et des constatations qu'il a pu faire dans sa carrière de professeur d'université et de directeur dans un centre de recherches industrielles.

La Macroscole, c'est un scénario, certains diraient une proposition, pour l'enseignement systémique des sciences. La Macroscole est l'enseignement carrefour de toutes les disciplines, de façon à former un individu à l'esprit non pas unifié mais créatif, à la formation qui ne soit pas un résultat, mais un point de départ.

Si cet essai, cette exploration n'apporte aucun changement à l'enseignement des sciences, l'approche systémique et le dialogue carrefour demeureront quand même les éléments essentiels de l'action des années 1990.

II LA MUTATION INDUSTRIELLE

Dans la société post-industrielle, le changement rapide est devenu une norme, dont le facteur essentiel pour la survie de l'entreprise est l'innovation. L'innovation joue son rôle avec le concours d'autres systèmes dynamiques: la poussée démographique, l'élargissement des marchés, l'accumulation du capital technique et l'accroissement des connaissances humaines.

Le concept d'innovation recouvre un ensemble de réalités complexes et multiformes aux contours imprécis. Il est donc difficile de le mesurer, mais on peut toujours tenter d'en explorer les différentes composantes.

Tout d'abord, il faudrait éviter d'élargir le concept d'innovation au point de le confondre avec celui de changement. Ainsi, le fait que les hommes portent aujourd'hui les cheveux longs n'est pas une innovation, même si l'on essaie de le dissimuler sous cette apparence. Le processus d'innovation est normalement défini par son aboutissement, soit la réalisation originale d'un produit qui comporte des attributs créateurs de valeurs. Un nouveau procédé ou un nouveau système revêt ainsi une utilité sociale lorsqu'il apporte plus de commodités, de confort, de sécurité, d'énergie, de qualités esthétiques, etc. Ainsi, la poudre à canon, l'imprimerie, le métier à tisser, la culture des pommes de terre, le sucre de betterave, l'eau de Javel, le système métrique, représentent des innovations indéniables et possèdent deux caractéristiques communes: il s'agit d'une nouveauté qui a été introduite dans un milieu donné.

Les diverses définitions de l'innovation que donnent les dictionnaires sont trop générales. De multiples publications portant sur l'innovation fournissent des définitions plus précises, dont voici quelques exemples:

- L'innovation traduit des idées en machines productrices et en produits.
- L'innovation est un phénomène social, car elle modifie le statu quo et comporte un risque; il s'agit d'un processus complexe technico-socio-économique.
- L'innovation est le processus de conversion d'une invention ou d'une idée en un succès financier.
- L'innovation technologique est le processus par lequel une idée ou une invention est introduite dans l'économie.

Sans rejeter ces définitions, disons que la plus complète est la suivante: l'innovation technologique est le processus par lequel une idée ou une invention qui satisfait un besoin (existant ou à créer) est introduite dans l'économie de façon à accroître les revenus, les exportations et l'emploi.

Trois constatations s'imposent:

Tout d'abord, l'image de l'innovation est mal présentée dans les livres de sciences et dans l'enseignement. On y part toujours, soit de la prise de conscience d'un fait (p. ex. la pomme de Newton) ou de connaissances déjà acquises (p. ex. la théorie électromagnétique de Maxwell). La science se présente comme désincarnée; on ne considère jamais les besoins de l'Homme; on ne cherche pas à satisfaire des besoins. Si les connaissances acquises permettent ultérieurement de le faire, cette démarche pourrait être parfois considérée comme une erreur par les confrères du chercheur. Bref, l'image transmise par l'enseignement, c'est celle du chercheur en blanc, dans sa tour d'ivoire, ignorant les besoins du peuple, mais satisfait par ses plaisirs intellectuels.

Deuxième constatation: cette définition n'indique pas les différentes étapes situées entre la naissance d'une idée ou d'une invention qui satisfait un besoin et sa commercialisation réussie, étapes généralement longues et laborieuses, parfois décourageantes, pleines de problèmes et le plus souvent très coûteuses. Ce processus ne ressemble guère au cheminement linéaire expérimental: constatation du fait - hypothèse - expérimentation - loi scientifique.

Finalement, troisième constatation, l'innovation peut découler tout autant des activités de fabrication et de commercialisation que de l'effort de recherche et de développement de l'entreprise intéressée. L'innovation réelle est la somme d'au moins trois fonctions: création, fabrication et commercialisation. L'entreprise industrielle aux laboratoires dynamiques, mais dont la chaîne de fabrication ou le service des ventes est faible peut fort bien échouer dans la mise en oeuvre de l'innovation technique. En conséquence, pour parler de cette dernière, il faut envisager le processus complet de la création de pointe, associé à la performance du chef d'entreprise et des services de gestion, de commercialisation et des opérations bancaires. C'est ce qu'on pourrait appeler le science-mix, une combinaison diverse des sciences physiques et des sciences humaines. Cette constatation est diamétralement opposée à celle qui peut être faite, dans l'enseignement, où on observe le dualisme marqué des deux groupes de sciences.

Le processus d'innovation

Le rôle de l'information

S'il est vrai que l'entrepreneur demeure le catalyseur qui optimisera la réussite du processus d'innovation, la fonction la plus importante demeure celle de l'information car, non seulement amorce-t-elle le processus par l'identification du besoin, mais elle étaye l'orientation de chacune des étapes.

Avant d'analyser plus en détail le rôle de l'information dans le domaine de l'innovation, il est nécessaire de faire une distinction relative aux deux genres d'idées qui peuvent conduire à l'innovation industrielle. Cette distinction est admise par la plupart des spécialistes. D'une part, il y a les idées qui sont stimulées par la connaissance des besoins ou des problèmes (market pull ou orientation par les besoins) et, d'autre part, il y a les idées stimulées par la connaissance des moyens ou d'une nouvelle technologie (technology push ou poussée vers l'innovation). Il s'agit de deux processus de genèse d'une innovation qui sont presque diamétralement opposés puisque, dans le premier cas, il faut découvrir la solution à un problème alors que, dans le deuxième, il s'agit de trouver des applications pour lesquelles une "solution" est connue.

Deux questions demeurent essentielles en matière d'insertion de l'information dans le processus d'innovation industrielle. Tout d'abord, quelle information donne naissance à une innovation et, plus précisément, quelle information conduit à la conception et au développement de nouveaux produits par l'entreprise? Deuxièmement, de quelle façon l'information a-t-elle contribué au développement de nouveaux produits?

Trois énoncés sont largement acceptés; ils ont servi de base à des études comme celles de Marquis, Utterback et Baker. Les deux premiers s'appliquent davantage à la phase de génération des idées, alors que le dernier concerne plutôt la phase de résolution d'un problème.

Énoncé 1: La naissance des idées

> La naissance d'idées orientées vers de nouveaux produits découle plus fréquemment de la mise en évidence d'un besoin ou d'un problème que de l'identification d'une technique ou d'un moyen.

Énoncé 2: L'âge de la technologie utilisée

> La technologie de base utilisée dans les innovations stimulées par les possibilités techniques est plus récente que celle employée dans les innovations stimulées par un besoin.

Énoncé 3: Le mode hiérarchique de la recherche d'information

> La recherche d'information évolue normalement tout d'abord à travers les sources locales et facilement accessibles (publications et rapports), ensuite à travers les sources secondaires (communications avec les autres) et finalement vers les sources primaires (analyses et expérimentation), les deux premières jouant un rôle plus important dans le développement des innovations générées par une technologie que dans les cas de celles basées sur un besoin.

C'est à l'aide des données recueillies dans les divers rapports qu'il a été possible d'établir ces énoncés. Elles font ressortir la nécessité de créer un "carrefour" entre l'information en amont, celle en aval et l'innovation. L'information se doit d'être le résultat d'une convergence.

Le modèle de Gruber et Marquis

Le Tableau I présente le cheminement chronologique des étapes principales de l'innovation en matière de procédé de fabrication, de produit ou de service. Les étapes 2, 3, 4 et 6 sont habituellement réalisées par des scientifiques, des ingénieurs et des chercheurs. Il faut cependant remarquer que leur travail ne produira jamais d'avantages pour l'industrie privée et le public si l'on néglige les autres étapes. Par ailleurs, le chercheur en "sciences humaines" doit participer à toutes les étapes, de façon à évaluer les coûts, tant ceux déjà assumés que ceux prévus en fonction de la meilleure évaluation des retombées finales de l'investissement, à modifier les objectifs en fonction des besoins de la clientèle et à réunir le capital nécessaire.

Comment est-il possible d'organiser les étapes précédemment mentionnées pour en faire un système? Plusieurs modèles ont été proposés et analysés. Citons, entre autres, le modèle classique de Lionel Cox[3], de MacMillan Bloedel, présenté au Comité Lamontagne. C'est le modèle en escalier: recherche fondamentale, recherche appliquée, exploitation, développement, commercialisation, expansion commerciale, création d'emplois, bénéfices; c'est le même processus linéaire que l'on retrouve dans les livres comme image de l'innovation.

Tableau I - Étapes principales de l'innovation

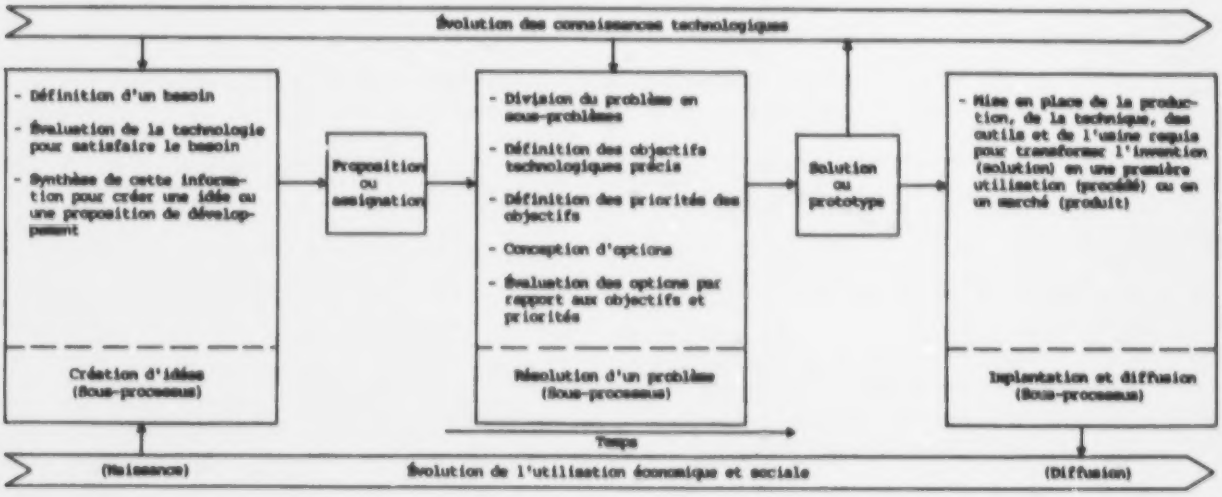
Variation du temps	1. Identification d'un besoin d'un client. 2. Création d'idées ou d'une invention. 3. Revue des connaissances et du savoir-faire en sciences, en technologie, en économique, en commercialisation, etc. Il s'agit d'un rapport de faisabilité. 4. Travail de développement - Identification et résolution des problèmes - Test et étude de marché
Augmentation du coût	5. Établissement du capital-risque.
Évolution de la technologie et du milieu socio-économique	6. Changement dû à l'implantation. - Design, ingénierie et outillage - Début de la mise en marché et de l'usine 7. Commercialisation et vente du nouveau produit, procédé ou service. 8. Diffusion parmi les utilisateurs. 9. Satisfaction du besoin du client et réalisation des objectifs de l'entreprise.

Le modèle qui retient le plus de paramètres réalistes a été proposé et développé par Gruber et Marquis[4], du MIT; il a été, par la suite, précisé et étendu à partir des expériences industrielles par Myers, Marquis et Utterback, du MIT.

Dans ce modèle, le processus d'innovation technique est présenté dans le contexte du monde réel, avec ses éléments politiques, culturels et sociaux. Un facteur important de cet environnement est l'état des connaissances techniques. Cette connaissance fait partie intégrante des articles scientifiques, des séminaires, des techniques courantes, des

brevets, des catalogues d'éléments de toute formes, etc. Le modèle suggère une évolution constante des connaissances techniques dans le temps, comme l'indique la flèche horizontale au haut du tableau. L'aspect économique et social de l'utilisation des produits, des procédés de fabrication et des services devient aussi un facteur important. Cet aspect économique et social est défini par les autres entreprises de la même branche industrielle, par la concurrence et les utilisateurs présents ou futurs.

Tableau II - Le processus d'innovation*



*Source: Gruber et Marquis, Factors in the Transfer of Technology, MIT Press, Cambridge, Mass., 1969.

On constate avec surprise que ce modèle fait aussi ressortir la nécessité d'un bon science-mix (panachage de sciences) pour atteindre l'objectif visé. Cette situation s'oppose à celle qui caractérise la plupart des méthodes d'enseignement, où l'on hésite à faire un mélange explosif et créateur entre les diverses disciplines, et même à l'intérieur de la même discipline. Ainsi enseigne-t-on toujours la physique en séparant statique, cinématique, dynamique, optique, électricité, etc.

Les conséquences pratiques

Si l'on compare les énoncés sur l'utilisation de l'information au modèle du processus d'innovation, on note avec intérêt certaines conséquences prati-

ques; on aurait sans doute avantage à les comparer à certaines opinions, dites fondées, qui règnent incontestées, et non contestables, dans les milieux de l'enseignement.

Par rapport aux différentes phases du processus d'innovation, il est possible de conclure:

- que l'information trouve le plus souvent sa source à l'extérieur de l'entreprise durant la phase d'éclosion des idées (énoncé 1) et que l'utilisation des sources internes est prépondérante durant la phase de résolution d'un problème (énoncé 3);
- que la communication verbale est la source prépondérante de communication pendant les deux phases (énoncés 1 et 3), et
- que la recherche de l'information est plus structurée dans la deuxième phase que dans la première (énoncé 3).

Par rapport aux sources d'information, il est possible de conclure:

- que l'éclosion d'une nouvelle idée est le plus souvent stimulée par la mise en évidence d'un besoin ou d'un problème, suivie par l'identification des moyens techniques susceptibles de satisfaire le besoin ou de résoudre le problème (énoncé 1), et
- que dans la minorité des cas stimulés par la technique, la technologie utilisée est plus récente et la plupart de l'information utilisée provient de publications et de consultations techniques hors de l'entreprise (énoncé 2).

Par rapport à l'organisation de ce modèle, il est important de tenir compte de deux facteurs critiques:

- l'association étroite de l'information commerciale et économique avec l'information technologique (énoncé 1), et
- l'analyse et la communication des besoins et des problèmes (énoncé 2).

Faisons un commentaire direct: Il serait sans doute utile d'analyser un certain nombre de manuels scolaires qui, fondamentalement sont des

sources d'information, pour déterminer s'ils satisfont l'un ou l'autre des besoins exprimés par ces conclusions. Faut-il croire que poser la question, c'est donner la réponse? Ou peut-être dérange-t-elle trop de sécurité intellectuelle acquise et la routine quotidienne.

Le rôle de l'entrepreneur

D'après le modèle de Gruber et Marquis, l'innovation découle d'une relation adéquate entre quatre fonctions: informer, chercher, produire et diffuser, relation "pondérée" par l'évolution de la technologie et du milieu socio-économique. L'intersection de ces quatre fonctions est le domaine d'action de l'entrepreneur, du venture manager et de l'innovateur.

L'action bien comprise de cet entrepreneur encouragera un comportement créatif de toute l'équipe d'innovation. D'après Cox[5], "l'entrepreneur de pointe" ou le venture manager a la réputation, auprès des dirigeants d'entreprise, de voir à ce que les choses soient faites: il connaît très bien comment une idée naît, évolue, est financée, se commercialise et se gère pour déboucher sur la création d'une entreprise profitable; il prend des risques et ose être différent; les retards l'impatientent; il est très sûr de ses propres capacités et respectueusement sceptique de ce qui est admis. Son supérieur immédiat le considère souvent comme difficile à diriger, trop franc et quelquefois caustique; mais il est sensible aux réactions de ceux qui dépendent de lui, et comprend bien ce qui motive les gens avec lesquels il entre en contact pour faire effectuer un travail; bref, l'entrepreneur est le catalyseur qui réussit à métamorphoser l'acquis scientifique et technique en produits commercialisables, grâce à son enthousiasme, à son courage et à sa ténacité persuasive.

Cette description de l'entrepreneur indique bien qu'il est l'homme-clé du mécanisme d'innovation, et que sa personnalité est habituellement assez différente de celle du chercheur. Cependant, certains éléments de l'environnement peuvent le stimuler ou l'abattre. L'entrepreneur doit bénéficier de la décentralisation de l'autorité et d'une délégation des responsabilités, car une politique trop stricte et des contrôles trop pesants

pourraient créer une atmosphère de serre chaude annihilant l'esprit d'entreprise. Certains autres éléments peuvent lui être fatals: le syndrome financement-comptabilité, les réunions interminables, les communications vagues et la bureaucratie. Ce genre de gestion crée sans doute de bons gestionnaires, mais aucun entrepreneur. En d'autres termes, sous bien des aspects, bonne gestion et esprit d'entreprise ne sont pas nécessairement synonymes.

Convergences et divergences

- *Le profil de l'entrepreneur peut-il être un modèle à proposer à l'enseignement?*

- *Quelles activités pédagogiques pourraient être développées pour simuler l'action de l'entrepreneur?*

- *Comment peut-on développer un profil d'entrepreneur chez l'étudiant tout en le maintenant dans un cadre acceptable pour l'équipe dont il est membre?*

- *Dans son ensemble ou dans certains de ses éléments, le processus d'innovation pourrait-il servir de modèle à un science-mix (panachage de sciences) débouchant sur l'enseignement intégré des sciences physiques et humaines?*

- *L'enseignement des sciences peut-il être market pulled, (orienté par les besoins), ou ne peut-il être que technology pushed (poussé vers l'innovation), c'est-à-dire présenté comme solution à des problèmes futurs?*

- *Si l'on accepte un modèle d'enseignement du genre science-mix (panachage de sciences), comment pourrait-on enseigner la chimie et la commercialisation dans un même programme?*

- *Étant donné que l'innovation utilise davantage la technologie récente, pourquoi ne pas enseigner les seules "nouveautés technologiques"? À quoi servirait alors l'enseignement du modèle d'atome de Bohr?*

- *On constate que la structure logique des manuels fournit un cadre et forme le processus de pensée que l'étudiant utilisera par la suite. Cependant, il a été établi que la communication verbale est plus importante, pour stimuler la créativité. Alors pourquoi rédiger des manuels? Ne faudrait-il pas enseigner que ce qui n'est pas écrit?*

- *Dans le domaine de l'enseignement des sciences, quelles seraient les implications pratiques des trois hypothèses formulées sur le rôle de l'information?*

L'origine des inventions

Il a été établi que l'innovation est un processus qui est géré par un entrepreneur et qui utilise l'information comme matière première à transformer. Si les conditions de "création de l'innovation" n'étaient que celles-là, ce serait vraiment simple de les reproduire "in vitro" pour obtenir tous les succès commerciaux recherchés. Mais il y a un hic. Ce processus ne peut se réaliser que dans un arrangement à permutation infinie de relations humaines; ce ne sont pas des machines à caractéristiques définies qui produisent, ce sont des hommes diversifiés à l'infini tant dans leurs capacités que dans leurs limites! C'est donc toute l'entreprise qui est concernée par l'innovation.

Les études, en général, font ressortir que l'entreprise innovatrice offre des traits particuliers découlant de quatre caractéristiques de son organisation et de ses ressources.

La décentralisation de l'autorité

La première caractéristique qui est cachée par un nombre considérable de préjugés, de mythes et de contradictions, est la décentralisation de l'autorité. De nombreuses entreprises croient avoir réalisé la décentralisation de l'autorité en décentralisant les opérations, les usines, les contrôles, les responsabilités, etc. Mais la décentralisation de l'autorité, c'est beaucoup plus. L'autorité, c'est la liberté, la capacité de choisir. Il y a réellement décentralisation de l'autorité lorsque les individus peuvent choisir eux-mêmes les méthodes et les techniques permettant d'atteindre leur objectif, et peuvent même choisir celui-ci aux alentours de l'axe de développement d'une entreprise.

Cette première caractéristique est étayée par deux autres caractéristiques tout aussi essentielles: une capacité d'absorption des erreurs et un réseau souple de communication.

La capacité d'"encaisser" les erreurs

Toute entreprise doit reconnaître le risque inhérent à l'innovation et les nombreuses possibilités d'échec. Elle se doit de constituer des réserves financières suffisantes pour encaisser les erreurs résultant de l'effort de création; sinon, elle ne parviendra à survivre qu'à condition d'éviter toute erreur dans le court terme et de limiter son champ d'exploration à des problèmes immédiats.

Le réseau souple de communication

D'autre part, le processus d'innovation est favorisé par la présence d'un certain nombre de facteurs favorables, dont le plus important est la communication directe; en effet, le créateur doit être en contact permanent avec les moindres ramifications de l'organisme et de son environnement.

Dans une analyse, James R. Bright[6] présente une série d'exemples d'inventions réalisées, non dans les industries où elles auraient dû normalement naître, mais dans des endroits imprévisibles. Ainsi, une fibre synthétique, le nylon, que l'industrie textile aurait dû inventer, a été créée par DuPont, entreprise de produits chimiques. Cette dernière, si elle avait réagi en circuit fermé, n'aurait pas accueilli l'innovation en la déclarant extérieure à son domaine, donc susceptible de le bouleverser. Mais DuPont construisit des usines pour la fibre nouvelle.

Cette analyse contient aussi une liste de dix-huit innovations importantes lancées par DuPont entre 1920 et 1945. On remarque que cinq seulement d'entre elles ne doivent rien à une source extérieure; les autres ont découlé d'achats de brevets améliorés par la suite, d'observations heureuses sur les emplois inattendus d'un produit, d'opportunités flairées lors de négociations avec un client ou de communications avec des consultants, des fournisseurs ou des clients.

Aucune raison sérieuse, résistant à l'analyse, ne peut justifier la rigidité et la limitation du réseau des communications. La plupart des

innovations dépendent de la flexibilité des réseaux et elles sont nécessaires à l'esprit créateur désireux de garder son dynamisme.

La gestion des ressources humaines

En plus de ces trois caractéristiques découlant de l'organisation, l'entreprise qui se veut innovatrice devrait suivre une politique de gestion créatrice des ressources humaines.

Il va sans dire qu'il est nécessaire d'embaucher des personnes dont les caractéristiques intellectuelles et les traits de personnalité correspondent au profil du créateur. L'entreprise doit faciliter leur adaptation en créant en son sein les postes qui conviennent à leur tempérament et à leurs méthodes de travail, souvent différents de ceux des autres cadres.

Dans ce domaine de la gestion des ressources humaines, l'industrie est à la veille d'une mutation qui exigera, de la part des gestionnaires, l'élaboration d'un dosage savant de technologie et de valeurs humaines. La productivité, voilà le slogan révolutionnaire qui abattra les entreprises inadaptées. Le processus d'adaptation sera peut-être long.

Tant aux États-Unis qu'au Canada, l'économie n'a bénéficié que de faibles accroissements de la productivité générale au cours de ces dernières années. Certaines branches industrielles pourraient utiliser les progrès techniques pour améliorer leur productivité, en utilisant des ressources humaines ayant reçu une formation technique adéquate.

Par exemple, plusieurs experts prévoient que d'ici l'an 2000, l'on implantera de nombreuses usines automatiques commandées par ordinateur. Ils estiment qu'une série d'incitations, tant sociales qu'économiques, conduisent vers cet objectif. Elles leur paraissent facilement discernables à l'heure actuelle. Sur le plan économique, ils signalent la faible productivité des chaînes de montage, à cause des temps morts considérables entre les diverses opérations effectuées à chaque étape de l'assemblage. On pourrait aussi augmenter le temps réel d'utilisation de la machinerie.

Les incitations de type social se fondent sur la réticence croissante des ouvriers à travailler dans des lieux pouvant être insalubres, sur la prise de conscience, par les employeurs, de la nécessité de procurer aux travailleurs quelque satisfaction du travail accompli, et sur l'attitude de plus en plus répandue parmi les autorités publiques en matière de sécurité du travail. À cela, il faut ajouter que ce haut degré d'automatisation apparaît réalisable grâce au développement rapide de la commande informatique numérique, et des progiciels destinés à la fabrication, à une technologie groupée et à la fabrication cellulaire.

La gestion des ressources humaines sera à repenser complètement. Mais comment des hommes formés dans un cadre éducatif linéaire, binaire, compartimenté ou désincarné pourront-ils développer une pensée intégrée et un jugement pondéré par de nombreuses considérations. Faut-il revenir au "cours classique", comme le suggèrent certaines études américaines indiquant que les meilleurs gestionnaires sont des "généralistes"?

Convergences et divergences

- *Les professeurs pourraient-ils avoir suffisamment d'autonomie pour proposer l'agencement des cours et l'importance relative de chacun?*
- *Comment peut-on aider les étudiants à connaître leurs limites et leurs capacités?*
- *Face à la nécessité de posséder des connaissances intégrées dans un monde gouverné par la "productivité", la formation présente est-elle adéquate? Devrait-on éliminer les sciences physiques pour introduire plus de sciences humaines?*

Une typologie de l'innovation

L'innovation, c'est donc à la fois un processus et son résultat; c'est aussi l'effet catalyseur de l'entrepreneur et la transformation de la

matière première qu'est l'information; c'est encore l'agencement des paramètres organisationnels pour favoriser la synergie des relations humaines.

On voit tout de suite apparaître dans cette toile de fond une diversité qu'il est difficile de décrire, à moins d'esquisser les grandes lignes d'une typologie pour préciser le contenu de l'innovation et tenter de la classer en grandes catégories.

La typologie proposée ici se réfère à la nature des produits mêmes de l'innovation.

Il faut bien remarquer qu'il aurait été possible de classer les innovations en fonction de leur degré de nouveauté du produit, ou en fonction du processus suivi. Sur le premier plan, on reconnaît habituellement trois caractéristiques du caractère novateur: tout d'abord, les innovations radicales ou absolues (par exemple, le transistor), ensuite les innovations relatives (par exemple, les techniques d'extrusion des plastiques par rapport aux techniques d'extrusion des métaux) et, finalement, les innovations de première imitation (par exemple, la fabrication et la diffusion au Québec d'un robinet à débit de bière copié sur une nouveauté française). Par ailleurs, si l'on voulait considérer plutôt le processus de l'innovation que le produit de l'innovation, il faudrait alors considérer le caractère prospectif qui oppose l'innovation anticipatrice, montrant que l'entreprise a prévu l'évolution de son environnement, à l'innovation réactive qui consiste à imaginer une solution nouvelle pour faire face à une situation devenue manifestement inconfortable.

Malheureusement, les distinctions établies ci-dessus donnent l'impression que l'enseignement actuel, favorisant l'acquisition des connaissances traditionnelles, serait adapté à l'innovation. Mais tel n'est pas le cas. Il faut développer le profil de l'innovateur chez l'étudiant, ce profil devant correspondre à une diversité de connaissances qui apparaît bien si l'on examine la nature des innovations.

Voyons donc plutôt un classement plus pratique, fondé sur la nature même des innovations. Il faut bien remarquer que les différentes catégories mentionnées ne doivent pas être considérées comme entièrement distinctes, car la plupart des innovations combinent plusieurs caractéristiques différentes. Cependant, pour la commodité de l'exposé, nous prendrons en considération le trait distinctif majeur du produit innovateur.

Il y a tout d'abord les innovations à dominante technologique. Dans ce groupe majeur, il est possible de distinguer sept catégories de produits innovateurs:

- les nouvelles matières ou produits bruts:

  l'acier inoxydable, le DDT, le formica, la pénicilline, le polyuréthane, le nylon, les semi-conducteurs;

- les nouveaux composants, éléments ou sous-systèmes:

  le transistor, le circuit imprimé, le Velcro, le pare-brise Securit, le pneu à carcasse radiale;

- les nouveaux produits finis, allant du tout simple au fort complexe, fondés sur un ou deux principes simples:

  le stylo à bille, les lentilles cornéennes, le rasoir à lame interchangeable, la brosse à dents électrique, la pilule anticonceptionnelle;

- les nouveaux systèmes complexes qui combinent, de manière plus ou moins originale, des composants plus ou moins nouveaux dans un ensemble de principes scientifiques:

  la télévision en couleurs, l'aérotrain, l'entrepôt de stockage automatisé et géré par ordinateur, le lecteur optique de caractères relié aux caisses enregistreuses;

- les nouveaux conditionnements qui facilitent l'utilisation du produit et son transport ou en augmentent l'agrément:

  le cirage en tube, la brosse à dents à jeter, la pâte feuilletée surgelée, le café instantané, le dépilatoire en bombe aérosol, le condom lubrifié;

- l'utilisation de nouveaux ingrédients (matières premières, sources d'énergie) qui permettent de réaliser le même produit ou un produit similaire à partir d'intrants différents:

l'énergie géothermique, l'électricité d'origine "éolienne", les métaux de récupération, le plastique rigide en remplacement de l'aluminium, les plastiques diélectriques;

- les nouveaux procédés utilisant de nouveaux équipements:

  l'acier à l'oxygène, le verre flotté, le découpage des tissus au moyen du laser, le tissu non tissé, l'exploration des tissus mous grâce aux ultra-sons.

Il y a ensuite le grand groupe des innovations à dominante commerciale où l'innovation découle d'une trouvaille en aval de la production, c'est-à-dire dans le domaine de la commercialisation. Dans ce grand groupe, on retrouve cinq catégories:

- la nouvelle présentation du produit:

  le livre de poche, le design original d'un emballage qui modifie la perception d'un produit;

- le nouveau mode de distribution d'un produit donné:

  la vente d'articles en matière plastique à l'occasion de réunions sociales (Tupperware);

- la nouvelle application d'un produit déjà connu:

  la pilule anovulante, le ciné-parc;

- les nouveaux moyens de promotion de vente: la conception d'une campagne de relations publiques originale ou d'une forme de publicité nouvelle:

  l'exemple le plus frappant a sans doute été la campagne publicitaire qui se limitait à dire: "Il n'y aura pas de publicité";

- le nouveau système commercial:

  le système "Achats comptants sans livraison", l'hypermarché, la carte de crédit, le prêt-bail pour location d'équipement industriel.

Le troisième grand groupe traite des innovations relatives au mode d'organisation de l'entreprise, à ses procédures et à ses modalités de

développement: ce sont donc les innovations à dominante organisationnelle. Voici quelques exemples:

- la rationalisation des choix budgétaires (PPBS);
- la structure matricielle d'organisation;
- le prélèvement automatique sur le compte budgétaire;
- le franchisage dans la restauration;
- la fabrication sous licence.

Finalement, il y a les innovations institutionelles qui se situent au niveau des pouvoirs publics et se traduisent habituellement par l'implantation de nouvelles normes et, par le fait même, de nouveaux systèmes dans le but de promouvoir le progrès socio-économique. Citons quelques exemples:

- l'élimination de la taxe de vente sur les produits de consommation;
- les dégrèvements d'impôts pour les frais de R-D;
- les lois régissant les coopératives.

Cette typologie, qui a été élaborée au cours d'une étude réalisée conjointement en France par la Délégation générale à la recherche scientifique et technique, l'Institut français de gestion et la société Bertin, permet de tirer la conclusion suivante: le processus d'innovation industrielle ne se trouve pas uniquement dans les sciences physiques, mais peut faire appel aux connaissances et au savoir-faire des sciences humaines et administratives et, bien souvent, l'information recherchée peut se trouver tout simplement dans les catalogues ou même dans les pages jaunes d'un répertoire téléphonique.

Convergences et divergences

- *Serait-il possible de développer une typologie des cours en fonction de leurs effets possibles sur la production des divers types d'innovation?*

- *L'enseignement des sciences est-il le seul à conduire à l'innovation industrielle? Quelle relation devrait-il avoir avec l'enseignement des autres disciplines, en songeant particulièrement à l'histoire, à la géographie et au français?*

- *Étant donné que l'analyse de la nature des innovations fait ressortir l'interdépendance effective des sciences physiques et des sciences humaines, serait-il avantageux et possible de mettre au point de nouveaux cours ou un agencement de cours qui permettrait à l'étudiant de développer son profil d'innovateur plutôt que ses connaissances et sa capacité intellectuelles? Avec quelque deux décennies de recul, croit-on encore que le "cours classique" était si inadapté aux besoins de la société?*

III LA TECHNOLOGIE DES ANNÉES 1990

Le pari du Président Kennedy "Un homme sur la lune avant 1970" avait soulevé un enthousiasme exceptionnel et donné une stimulation vigoureuse que rien n'a remplacée depuis. Il n'est sans doute pas très réaliste de chercher à prévoir les thèmes scientifiques ou techniques qui pourraient motiver les enthousiasmes et déboucher sur de nouveaux idéaux. Il est bien difficile de les cerner avec précision. Cependant, ils seront vraisemblablement liés à la qualité de la vie et aux grands problèmes mondiaux qu'on peut prédire par extrapolation des tendances actuelles. Certains s'efforcent d'alerter l'opinion au sujet de questions d'importance rapidement croissante en matière de démographie, d'alimentation, de matières premières épuisables, d'environnement et d'énergie. Les ressources de la science devraient permettre d'infléchir l'évolution de ces problèmes.

La formation des jeunes présente un défi de taille au système d'enseignement. Il leur faudra s'adapter à un monde du travail en évolution très rapide où, trop souvent, ce qu'ils ont appris n'est plus utile ou utilisé. Pour enseigner aujourd'hui, il faut se projeter dans un futur parfois imprévisible. Essayons de l'imaginer au moins pour le monde de la technologie et ses conséquences pour la vie quotidienne.

L'énergie

Le nouveau contexte énergétique influence maintenant le comportement des entreprises et nul doute qu'il continuera de le faire au cours des prochaines années, avec l'épuisement graduel de certaines ressources et leur remplacement par de nouvelles formes d'énergie. Les industries qui se

tourneront les premières vers les sources plus abondantes ou vers celles qui seront les plus fiables dans l'avenir acquerront rapidement un avantage comparatif par rapport aux autres.

Toutes les prévisions concordent sur un point: le prix de l'énergie croîtra au moins aussi vite que celui des autres biens. Dans l'immédiat, c'est l'économie d'énergie qui offre les perspectives les plus prometteuses pour éviter la crise imminente, car les nouvelles sources d'énergie ne seront disponibles que vers 1990 et même plus tard, à condition bien entendu de commencer les recherches sans tarder.

Les entreprises qui utilisent le pétrole comme matière première, plutôt que comme combustible, seront touchées plus directement. Ainsi, il y aura place pour l'innovation dans les entreprises qui fabriquent des produits à partir d'autres matières premières que le pétrole. De même, les occasions d'affaires seront intéressantes dans le secteur des sources primaires d'énergie et dans celui des appareils permettant d'économiser l'énergie ou de l'utiliser plus efficacement pour la fabrication des biens. Finalement, dans l'avenir, il faudra se pencher sur des techniques assurant une meilleure sécurité d'approvisionnement; cela concerne le transport et l'entreposage d'énergie ainsi que l'utilisation conjointe de sources différentes d'énergie.

En général, les recherches concernant l'énergie demeureront très actives d'autant plus que, dans l'état actuel des techniques, il est impossible de faire des choix définitifs et que, pendant de nombreuses années encore, il conviendra d'accumuler des résultats dans tous les domaines. On peut prévoir que ce domaine de recherche nécessitera le tiers des crédits à la R-D dans le domaine non militaire.

Convergences et divergences

- *Quelle relation peut-on observer entre le "contexte énergétique" et l'enseignement de la biologie?*

L'environnement

Indépendamment de la crise de l'énergie mais en conjonction avec elle, l'environnement matériel se détériore par suite d'une activité économique grandissante. Par exemple, les produits chimiques et les polluants issus des activités industrielles dégradent de plus en plus la nature. La dernière manifestation d'une pollution généralisée, que l'on croyait auparavant cantonnée dans les grandes villes, prend la forme de pluies acides qui détruisent la vie lacustre et celle des sols agricoles. La pollution est maintenant répandue partout. La crise de l'énergie accentuera le processus, soit en incitant les autorités publiques à réduire la rigueur des normes et de la réglementation afin de permettre l'utilisation de sources d'énergie jugées nocives (par exemple les filières du charbon et de l'uranium), soit par le recours de l'industrie à des techniques de production plus polluantes. Malgré tout, la réglementation de protection de l'environnement sera en partie maintenue et les entreprises industrielles devront s'y adapter.

On a franchi au cours de la dernière décennie des pas de géant en matière de protection de l'environnement, et le public, en général, y reste très attaché: les mouvements de protection de la Nature et de lutte contre les nuisances sont actifs. Mais, en même temps, les considérations économiques apparaissent comme extrêmement contraignantes. On finit par croire que, de toute manière, il faudra accepter un certain niveau de pollution imposé plus par les coûts que par le souci du bien-être ou les possibilités

techniques. On revient sur la fixation de certaines normes protégeant parfaitement la santé, donc tout à fait souhaitables, mais à un prix prohibitif. On se préoccupe de plus en plus de la précision de telles évaluations: on s'interroge, par exemple, sur la meilleure manière de prendre en compte l'apport, à l'économie nationale, des industries et des services vivant de la défense de l'environnement. La pollution risque de créer une nouvelle industrie rentable.

Convergences et divergences

- *Quels sont les éléments polluants du milieu de l'enseignement? Par rapport à quels critères pourrait-on établir un "niveau de tolérance"?*

La biotechnologie

C'est le domaine du rêve...

La révolution biotechnologique va radicalement modifier les techniques agricoles et l'industrie alimentaire. C'est l'ère des bactéries, nouvelles alliées de l'Homme ou peut-être nouvelles esclaves..., le tout dépendant du gaspillage.

En effet, la biotechnologie étant définie comme "l'utilisation d'un processus biologique qui se déroule soit à l'intérieur des organismes microbiens, soit au sein des cellules végétales ou animales ou leurs constituants, en vue de produire des biens et des services" (Rapport Brossard)[7], on utilisera donc l'infiniment petit pour répondre aux besoins infiniment grands de l'Homme.

La biotechnologie utilise des techniques fort complexes.

Le génie génétique permet de modifier l'héritage génétique d'un micro-organisme et de lui donner la capacité de produire une nouvelle substance, de servir à une autre fin ou encore de modifier un substrat particulier.

Les enzymes et les systèmes enzymatiques trouvent une application nouvelle dans les soins médicaux, ayant été surtout utilisés dans le passé par l'industrie alimentaire et celle des détersifs.

La fusion cellulaire offre la possibilité de créer des hybrides; elle ouvre une multitude d'avenues dans les domaines de l'agriculture, des ressources forestières et des produits thérapeutiques.

La culture des cellules végétales in vitro permet d'élaborer des agents utilisés dans la fabrication des médicaments.

Finalement, l'organisation des méthodes de fabrication et la robotique voient à l'élaboration, à la régulation et au contrôle des nouveaux processus biotechnologiques.

Le terme de "biotechnologie" est le nouveau leitmotiv qu'on retrouve tant dans les revues scientifiques que dans les pages économiques et financières des périodiques. Le capital-risque passe lentement de l'électronique et de la micro-électronique vers la biotechnologie. Le marché atteindra probablement la maturité dans dix ou vingt ans. Là encore, il y a un grand risque de manquer le bateau, si la formation de la jeunesse demeure tournée vers le passé, et assurée par un système d'enseignement compartimenté. Il faudra que le gestionnaire biotechnicien puisse étayer son jugement sur un ensemble de considérations découlant tant des sciences exactes que des sciences humaines, dans un cadre général de morale collective. La société porte toujours la responsabilité des monstres qu'elle engendre, qu'ils soient nucléaires ou microbiens.

Convergences et divergences

- *Quel genre de morale écologique faudrait-il développer chez l'étudiant pour que la biotechnologie demeure un outil de "l'être" et non de "l'avoir", de "libération" et non de "domination"?*

- *Devrait-on "enseigner" l'écologie? L'écologie se classe-t-elle dans les sciences humaines ou physiques?*

Le redéploiement de la technologie

Ainsi, le cri d'alarme du Rapport Lamontagne[8] "Innover ou périr" garde son actualité; l'innovation ne doit plus se limiter à des concepts techniques, et il lui faut englober les autres dimensions de la connaissance et des activités humaines.

Ainsi cherche-t-on davantage à améliorer la gestion de la recherche par l'analyse minutieuse des répercussions et l'évaluation rigoureuse des coûts et des moyens mis en oeuvre. Les chercheurs eux-mêmes s'interrogent de plus en plus sur la finalité de leur action, et sur les conséquences possibles de leurs travaux. Ils le font avec beaucoup d'honnêteté intellectuelle et, poussés il est vrai par une opinion publique vigilante, ils en viennent parfois à s'imposer eux-mêmes des règles à suivre. Cette attitude a été récemment illustrée d'une manière frappante par la limitation volontaire des travaux d'ingénierie génétique. On en est parvenu ainsi à un équilibre bien fragile dont on peut se demander s'il subsistera lorsque des intérêts industriels importants seront en jeu. Ainsi, le progrès scientifique devient, de la part de la société l'objet, sinon d'un contrôle réel, du moins d'une surveillance constante, qui ne peut être sans conséquence sur son évolution. Cette tendance se manifeste actuellement de manière

très générale, aussi bien en ce qui concerne les programmes de R-D réalisés par les laboratoires de l'État que ceux entrepris par le secteur privé.

Cet aperçu du cheminement que la technologie devra suivre pour résoudre les problèmes d'énergie, d'environnement et de biotechnologie fait ressortir une réalité nouvelle: la révolution psychologique dont on voit les premiers mouvements tant chez les chercheurs que dans le public qui utilise les résultats de la science et de la technologie.

Au début des années 1960, Teilhard de Chardin, dans son oeuvre: Le phénomène humain[9], a été le premier visionnaire à mentionner cette révolution psychologique qui suivrait la révolution agricole vieille de dix mille ans et la révolution industrielle datant d'à peine trois cents ans. Teilhard de Chardin voyait cette révolution psychologique comme résultat de l'évolution même de l'être humain, de sa philosophie et de sa spiritualité. Plus près de nous, Alvin Toffler, dans son dernier ouvrage: La troisième vague[10], met en relief les signes avant-coureurs d'une profonde transformation des mentalités en considérant l'évolution de domaines aussi divers que l'économie, l'énergie, la psychologie et les communications.

Pour A. Toffler, tout au cours de la deuxième vague amorcée avec la révolution industrielle, le travail a été systématisé et compartimenté, alors que les cadences s'accéléraient. En accord avec la tradition judéo-chrétienne qui envisage le travail comme une tâche pénible recevant sa récompense dans l'au-delà, la main-d'oeuvre de cette époque s'est montrée docile, ponctuelle et capable de supporter un travail répétif. Le système d'enseignement développait cette mentalité en récompensant les élèves studieux et les génies en herbe; l'État et l'université la soutenaient en distribuant des médailles "d'honneur" à leurs employés conciliants, et l'entreprise la récompensait en décernant aux travailleurs une plaque commémorative pour leurs vingt-cinq années de loyaux services.

Cette révolution psychologique fait apparaître trois paramètres qui devraient influencer directement les méthodes d'enseignement.

Le premier paramètre concerne le travailleur, qui exigera des tâches plus variées et des responsabilités plus larges. La vogue du travail à temps partiel et des horaires flexibles abolissant l'acceptation inconditionnelle d'une uniformisation des comportements en découle. Ce rejet du stéréotype devrait engendrer de nouvelles structures dans l'école, pour peu qu'on lui accorde quelque attention. Les professeurs seront peut-être les premiers à rejeter le masque du comportement stéréotypé.

D'autre part, étant donné la complexité de plus en plus grande des équipements et des technologies utilisés, l'école devra former des gens capables de saisir l'imbrication de leurs tâches particulières dans l'ensemble des opérations, et de s'adapter rapidement à de nombreux changements. Les programmes de cours et stages alternés mis sur pied par certaines universités constituent une forme de réponse. Parallèlement, l'école se devrait de créer un mécanisme analogue. Là encore, un effort de recherches est nécessaire, avec ses tâtonnements mais aussi avec sa motivation.

Finalement, les modèles d'autorité acceptés actuellement vont disparaître. Présentement, chaque travailleur relève d'un seul patron dans le cadre d'une hiérarchie très structurée. Certains organismes d'avant-garde ont déjà mis en place une hiérarchie beaucoup plus complexe, basée sur le principe selon lequel la lumière jaillit du choc des esprits; ainsi considère-t-on les divergences d'opinions avec beaucoup d'attention. Il en résulte que le travailleur d'esprit indépendant, conscient de ses responsabilités sociales et exigeant à l'égard de l'autorité, deviendra indispensable à l'entreprise, alors que présentement il est considéré comme un gêneur. Comme à l'école...

Il faut désormais se demander si le processus d'innovation correspond toujours à un besoin. Apporte-t-il un atout véritablement décisif? Porte-t-il sur ce qui est important pour le travailleur, l'employeur et le consommateur? Son coût est-il toujours justifié ou, sous prétexte d'innovation et d'augmentation de la rentabilité, ne renchérit-on pas artificiel-

lement un produit? N'entraîne-t-il pas une gestion plus difficile et plus coûteuse des biens, les réparations étant plus compliquées et exigeant plus de main-d'oeuvre? Sous prétexte d'innovation n'a-t-on pas repoussé à l'arrière-plan les considérations de salubrité et de protection de l'environnement? Si toutes ces questions se posent, c'est qu'il y a de fausses innovations. Jusqu'ici, l'innovation était particulièrement orientée vers la rentabilité, laissant souvent de côté des besoins sociaux plus fondamentaux. Il faut cependant être prudent, car il n'y aurait qu'un pas à faire pour mettre en place une guillotine pour innovations douteuses ou nuisibles ou dont l'un des aspects pourrait être, à un moment donné, considéré comme nuisible. On ne peut procéder ainsi, parce que l'innovation a déjà contribué à améliorer les conditions d'existence et de travail, parce qu'elle a donné un cadre de vie plus confortable, parce qu'elle permet, à l'occasion, non seulement "d'avoir" mais aussi "d'être". Il n'est donc pas question de limiter à priori l'innovation. Cependant, on devra la mettre en "liberté surveillée" et s'efforcer de l'orienter et de l'encadrer afin qu'elle retrouve "le bon et le droit chemin".

C'est là peut-être un nouvel objectif pour l'enseignement: former une jeunesse qui sera capable de trouver la voie moyenne entre les éléments divers et complexes. Il faudrait peut-être adopter une méthode beaucoup plus synthétique qu'analytique dans l'enseignement.

Convergences et divergences

- *La révolution psychologique, est-ce une chimère?*

IV L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES

L'enseignement est linéaire: les idées, les développements, les matières étudiées se déroulent de façon séquentielle.

C'est un enseignement tunnel. Pour sortir à l'autre bout, il faut entrer d'un côté. Pis encore, c'est un tunnel à sens unique. "Monsieur, à quoi sert ce que vous enseignez là?" demande l'élève. "Tu es ici pour apprendre et ça servira plus tard" est la réponse motivante du professeur!

Or, le changement auquel tout individu est appelé à faire face, soit pour le subir soit pour le provoquer, ne peut être le résultat d'un processus rationnel; il exige une créativité accrue qui découle elle-même des connaissances acquises, de l'imagination et de l'environnement. Et c'est là que l'enseignement peut jouer un rôle essentiel en déterminant l'ampleur et l'orientation des connaissances, ainsi que l'utilisation et le contrôle de l'imagination, de façon à développer les capacités de l'individu, qui pourra alors modifier son environnement.

Dans un milieu en évolution constante, l'enseignement devrait fournir à l'individu non pas l'information sur ce qui est pour qu'il s'y adapte, mais l'information sur ce qu'il est pour qu'il puisse façonner son environnement. C'est probablement sous l'effet d'une vision prophétique que Bernard Shaw a écrit: "L'homme raisonnable s'adapte au monde. L'homme déraisonnable essaie d'adapter le monde à lui-même. Par conséquent, le progrès dépend de l'homme qui n'est pas raisonnable." Et Paul Valéry a dit dans le

même sens: "Dans le métier de philosophe, il est essentiel de ne pas comprendre."

De même que l'analyse de la mutation industrielle et du développement technologique présentée précédemment n'a retenu que les éléments qui ont une rétroaction sociale, la présente section tentera de considérer aussi l'enseignement comme un système dynamique, un processus qui transforme des intrants en extrants, de façon à faire ressortir les facteurs qui pourraient avoir une rétroaction sociale.

Le processus de créativité

S'il faut en croire un des axiomes du rapport Lamontagne[11], "Innover ou périr", les Canadiens vont périr! En effet, en appliquant le critère de mesure de la créativité, critère généralement accepté, le Canada se situe très loin en arrière d'autres pays industrialisés.

Parmi les indicateurs de créativité des entreprises d'un pays, on a proposé d'utiliser le nombre de brevets déposés par an et par habitant. Les chiffres obtenus rendent compte alors du degré d'industrialisation du pays, et non de sa créativité qui doit être ramenée à l'entreprise, d'où l'utilisation d'un indicateur plus sophistiqué, qui est le nombre de brevets par an et par ingénieur ou technicien travaillant en recherche. Le tableau qui suit fournit les données de l'ONU et de la DGRST (Délégation générale à la recherche scientifique et technique). Les données pour le Canada nous ont été fournies par les organismes fédéraux concernés et sont celles de l'année 1971.

Un tel indicateur, avec toutes les imperfections qu'il comporte, révèle que la créativité des chercheurs français est inférieure de 16 pour cent à celle de leurs collègues allemands et de 47 pour cent à celle des chercheurs japonais, dont l'habileté industrielle est reconnue. En ce qui concerne les États-Unis, le faible chiffre calculé provient de l'ampleur de l'effort de recherche fondamentale dans ce pays. La piètre performance du

Canada serait due à divers facteurs reliés au coût du développement, à la propriété industrielle et aux programmes de subventions. Mais il y a aussi, et peut-être avant tout, les lacunes de l'enseignement et des méthodes de développement et de gestion de la créativité quel que soit l'âge de la personne concernée, son sexe ou sa fonction.

Tableau III - Mesure de la créativité des entreprises

Pays	Nombre de demandes de brevets nationaux	Nombre de chercheurs	Nombre de brevets par an et par chercheur
Japon	78 500	396 000	0,19
Allemagne	33 000	270 000	0,12
Autriche	2 600	23 000	0,11
France	14 000	139 000	0,10
États-Unis	76 000	752 000	0,10
Canada	1 850	52 600	0,03

Le profil de l'individu créateur

Les études réalisées ont fait ressortir certaines caractéristiques de l'individu créateur et, partant de là, on a élaboré et utilisé avec succès de nombreuses méthodes de stimulation de la créativité. Étant donné l'importance du sujet et ses conséquences sur les méthodes d'enseignement, nous avons cru bon de présenter, à l'Annexe, plus de détails sur ses caractéristiques et les méthodes suivies. Le professeur aurait avantage à les connaître et à s'en inspirer, même si cela risque à coup sûr de déranger les habitudes.

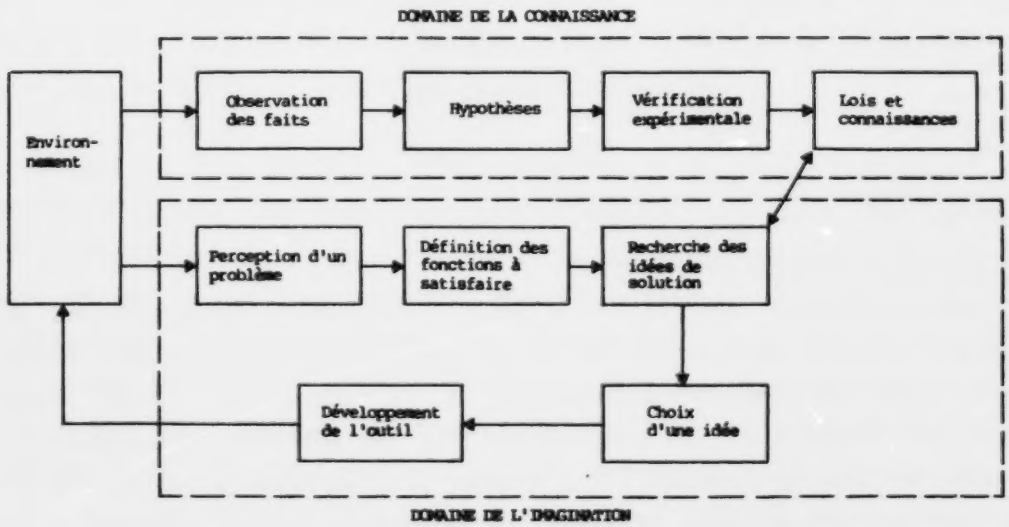
En résumé, le créateur possède une grande flexibilité conceptuelle, orientée vers la complexité; il est sensible, mais organise bien sa pensée. Il est foncièrement indépendant et profondément motivé. La communication est pour lui une condition existentielle.

Les deux routes

Pour pouvoir bien développer ce profil créateur, il faut comprendre le processus de créativité. Il a été souvent décrit, en particulier dans Les sciences au Québec: Quelle éducation? Décrivons-le à grands traits.

Nous partons d'un concept suffisamment vaste pour que chacun y trouve sa place: "l'environnement de chacun" ou "le monde dans lequel chacun vit son quotidien".

Tableau IV - Les éléments de la créativité*



*Source: Les sciences au Québec: Quelle éducation? Conseil des sciences du Canada, octobre 1982.

À partir de la considération et de l'analyse de cet environnement, on peut élaborer deux méthodes créatrices. Le graphique précédent présente

schématiquement le lien entre les divers éléments des deux processus créateurs.

C'est la méthode expérimentale qui est généralement utilisée dans l'enseignement, car les manuels la proposent à l'étudiant. Mais il y a une erreur fondamentale. Ce processus débute normalement "dans l'esprit du curieux" qui constate un fait et se pose une question. Newton, l'exemple classique, voit une pomme tomber et se demande: "Pourquoi tombe-t-elle?". Or, l'étudiant ne ressent pas cette curiosité, mais il est obligé de suivre le processus expérimental; il se dit donc: "À quoi servent toutes ces démonstrations et toutes ces lois?"

Quant à la méthode heuristique, celle qui cherche à faire découvrir par l'élève lui-même ce qu'on désire lui enseigner, lui communiquer, celle qui stimule l'imagination pour lui donner "l'intelligence de ce qui est", elle est utilisée par quelques manuels, mais elle subit une "mutation conceptuelle" lorsqu'elle transite par le cerveau de bien des professeurs pour en ressortir sous la forme de la méthode expérimentale.

En résumé, les deux méthodes manquent leur objectif propre qui est de faire ressortir le processus utilisé, et se limitent, en fin de compte, à l'objectif commun qui est la transmission des connaissances, sans savoir pourquoi on doit les acquérir, sauf que "ça pourra servir un jour, mon petit".

Mission accomplie: la cruche est pleine, mais à quoi servira-t-elle? À rien, car ni la curiosité ni l'imagination n'ont été stimulées; elles sont demeurées inertes tout au long du processus d'acquisition des connaissances.

Convergences et divergences

- *Comment peut-on comparer chacun des deux processus de créativité au processus de l'enseignement des sciences?*
- *Quelle est l'importance de l'apport des sciences physiques et des sciences humaines dans chacun de ces processus?*

L'évolution et l'influence de l'ordinateur

La technologie de l'ordinateur est fondée sur trois paramètres: la rapidité de traitement, la capacité d'emmagasinage et le traitement en temps réel. La rapidité de traitement a connu un développement fulgurant; de l'ordre du milliard, passant de la seconde à la nanoseconde. Quant à la capacité d'emmagasinage, si les cartes perforées permettaient d'inscrire quelques données, les mémoires à tambour magnétique les ont remplacées, puis les mémoires à ferrites, qui donnent un accès quasi-instantané à plusieurs millions de caractères. L'introduction du support magnétique, ruban ou disque, est sans doute le progrès le plus remarquable dans le domaine du stockage des données. Il n'existe pratiquement plus aucune limite à la quantité d'information qui peut être traitée en mode bidirectionnel dans un ordinateur central.

Cette poursuite des progrès de l'ordinatique a cependant achoppé sur une importante difficulté: l'incapacité de créer un lien réel entre l'utilisateur et la machine; il demeure impossible de communiquer directement avec un ensemble informatisé. La plupart des systèmes conçus dans ce but sont encore rudimentaires et nécessitent une structuration rigide des intrants et une connaissance approfondie du système, afin d'en garantir l'efficacité. Cependant, des progrès récents, tel le développement de "l'intelligence artificielle", ouvrent de nouveaux horizons.

Ainsi, les mini-ordinateurs et les micro-ordinateurs vont se disséminer absolument partout. D'ici cinq ans, le traitement se fera en mode réparti (distributed processing) selon l'une ou l'autre des structures suivantes: la première est celle où de petits ordinateurs seront utilisés individuellement, sans aucune interconnexion, et sans gestion centralisée. La seconde structure de traitement en mode réparti consistera à articuler un système à partir de ces petits ordinateurs, de façon à obtenir une forme de commande centralisée. L'économie de cette seconde structure découlera de l'utilisation des mini-ordinateurs ou des micro-ordinateurs comme périphériques intelligents d'un vaste réseau.

Ainsi, toute tentative de planifier l'avenir doit obligatoirement tenir compte des mini-ordinateurs et des micro-ordinateurs, de la constitution des réseaux d'informatique et de l'utilisation nouvelle des bases de données.

Le second élément d'importance qui va modifier d'un façon radicale les systèmes informatiques est l'interface machine-utilisateur. Cette modification suivra le schéma d'évolution de ce qu'il est maintenant convenu d'appeler la psychologie d'interface.

La plupart des utilisateurs de l'avenir ne seront plus des spécialistes, tels que les analystes, les bibliothécaires, les spécialistes en sciences documentaires, etc. Présentement toutes les activités que l'opérateur doit effectuer sont des activités mentales qui ne sont pas "naturelles" pour le magasinier, le médecin, le comptable, le pdg ou le fonctionnaire. Il devient donc urgent de concevoir des modes dialogués que l'opérateur utilisera tout naturellement.

Ces modes dialogués devront être intéressants et intelligents. C'est la seule façon d'assurer une plus large utilisation du savoir et du savoir-faire et d'arriver à articuler un réseau informatique à traitement réparti. C'est là l'élément le plus important des progrès à réaliser au cours des années qui viennent.

Dans l'avenir, nous prévoyons qu'on utilisera des périphériques intelligents comme interface entre l'homme et la machine et comme truchements du dialogue entre l'homme et la machine. C'est une solution acceptable psychologiquement pour l'utilisateur, et d'un coût abordable. Dans ce contexte, l'enseignement devra être reconsidéré, et subir une mutation profonde. À moins d'accepter consciemment une moindre qualité du savoir transmis, l'école devra privilégier l'enseignement assisté par ordinateur. Mais, là encore, il faudra modifier les mentalités obnubilées par des idées préconçues. On ne peut "transplanter" le contenu des cours actuels dans l'ordinateur. De fait, il serait dangereux de considérer l'ordinateur comme le "suppléant" du professeur. On ne doit pas considérer l'ordinateur comme un mécanisme de transmission; il doit être l'objet même de l'étude, de façon à conduire à la connaissance même du processus d'appréhension, car tout l'enseignement devrait retenir comme objectif le processus lui-même plutôt que la connaissance acquise. Apprendre à apprendre: voilà l'objectif. En fin de compte, l'ordinateur devra donc être utilisé pour simuler des situations réelles, en cernant des besoins et montrant quels sont les moyens à découvrir. La simulation ne met pas en relief une solution unique; il n'y a que des solutions plus ou moins adéquates.

Convergences et divergences

- *Si l'information, le savoir est disponible sur ordinateur, que reste-t-il à enseigner?*
- *Quelles seraient les disciplines qui pourraient être "enseignées" par ordinateur?*

V UN SCÉNARIO: LA MACROSCOLE

Nous avons présenté trois méthodes pour examiner le processus de développement et en faire ressortir certains éléments déterminants, et ce, sans établir de liens nécessairement logiques, démontrés, linéaires, entre l'ensemble et les éléments ou entre les divers éléments. Le lecteur peut établir ou imaginer les relations qu'il veut.

Le but? Discerner les grands traits du monde industriel, des progrès techniques et de l'enseignement des sciences, à travers les tâtonnements de l'innovation sociale, ses succès et ses échecs, de façon à déboucher sur un nouveau projet, une nouvelle échelle de valeurs.

Il reste donc à présenter une conclusion, ce qui irait à l'encontre du dialogue carrefour. Ce genre de dialogue ne conduit pas à une conclusion, mais à des possibilités, et il ne définit pas un avenir, mais une infinité de futurs probables. Il conduit à un scénario, un parmi d'autres. Il se situe entre le probable et le possible qui sont séparés par la volonté politique, la crise économique, la révolution psychologique...

Le scénario retenu ici est celui où l'Homme mettrait l'accent sur les relations entre les hommes, d'une part, et sur les relations entre les hommes et leur habitat naturel, d'autre part: c'est le scénario de l'écosociété.

L'écosociété

Dans l'écosociété, l'industrie et l'innovation industrielle seront orientées par l'ingénierie biologique et l'ingénierie écologique: la manipulation et l'imitation des micro-organismes et des enzymes pour la production d'aliments et de produits chimiques conduiront à des procédés moins polluants, peu "énergievores" et faciles à décentraliser.

L'entreprise, tout en gardant toute latitude pour développer son potentiel d'innovation et d'adaptation face à la concurrence, sera soumise au contrôle strict des groupes de consommateurs et d'utilisateurs qui, de concert avec les autorités publiques, choisiront les grandes finalités de l'industrie.

Le secteur des services constituera le fondement de l'économie, qui devra relâcher l'attention qu'elle accorde aux biens matériels: les échanges de services et le brassage des idées remplaceront les ventes de biens et le brassage des affaires, les télécommunications permettant l'interconnexion des mini-sociétés et l'informatique décentralisée stimulant l'effort intellectuel.

L'industrie de l'avenir atteindra l'équilibre après un bouleversement des modes de pensée et des habitudes, mais en favorisant l'égalité des individus et les progrès de la justice sociale.

L'écotechnologie

Dans l'écosociété, la technologie utilisée découlera de l'acquis en biologie. La biotechnologie permettra de faire la relation entre les cycles naturels et le métabolisme de "l'organisme social". Les possibilités déconcertantes, mais périlleuses, de l'ingénierie génétique, des génomes synthétiques et des modifications de l'électronique cérébrale nécessiteront la création d'un équilibre nouveau entre la science et la politique et entre la science et la morale.

L'écotechnologie favorisera le recyclage des calories et des matières premières, fournira des produits plus durables, revitalisera l'artisanat, dans le double but de mieux servir les besoins humains et de mieux utiliser la Nature.

L'écoéducation

L'écosociété, dans sa poursuite de l'équilibre, mettra en place un enseignement permettant à chacun, quel que soit son âge, d'acquérir les connaissances à son rythme propre. Cette acquisition se fera principalement par le truchement de la méthode des jeux, qui décrit une situation réelle et des besoins concrets pour prévoir une solution possible. L'ordinateur sera indispensable et permettra l'acquisition des connaissances selon une approche systémique. Il permettra un dialogue carrefour dans le langage de l'élève et stimulera l'acquisition accélérée des connaissances, la théorie venant après.

En conséquence, l'écoéducation sera acquise dans des parcs pédagogiques, extension des musées des sciences et de la technologie. Elle rejettera l'approche disciplinaire et elle unifiera les sciences physiques et les sciences humaines. L'ère de l'école sans murs favorisera l'explosion du qualitatif et de la sensibilité, la conquête de l'espace intérieur, l'apprentissage de la création et le libre accès aux connaissances.

Comme dans le domaine de l'industrie et de la technologie, l'enseignement sera systémique, sur le modèle de l'entreprise. En effet, dans l'entreprise, il ne suffit pas de réunir les disciplines pour trouver la "recette"; il faut plutôt apprendre à recueillir, à articuler et à hiérarchiser les informations qui parviennent sans cesse du monde où l'Homme vit; bref, il faut apprendre à faire la synthèse des informations à leur lieu de rencontre.

Notre prospective est suffisamment précise pour indiquer la fin du pouvoir professoral et de la relation logique, et le début du pouvoir étudiant et de la créativité permettant à l'intéressé de connaître ses

limites avant d'être limité par ses connaissances dans sa liberté créatrice. Peut-être faudra-t-il avoir le courage de "brûler sur la place publique" tous ces manuels qui expliquent, dans une structure dite rationnelle, toute la théorie pour placer en fin de chapitre les problèmes d'application. C'est le prix à payer, la modification fondamentale à apporter: tout ce qui peut être appris ne mérite pas d'être enseigné. Ainsi, l'enseignement devra, par la simulation, faire fonctionner l'électronique cérébrale pour découvrir de nouvelles frontières.

Il ne devra plus élever ces barrières, si peu rationnelles mais combien négatives, entre les sciences humaines et les sciences physiques. Le professeur devra devenir un animateur reconnu, non pour ses connaissances, mais pour sa qualité d'être; il devra être lui-même porteur de la synthèse de l'Homme dans son habitat: il sera le carrefour.

La Macroscole

Ce scénario d'avenir montre qu'il faut mettre sur pied un enseignement systémique des sciences. À l'image du dialogue carrefour, l'enseignement ne devrait plus être une mosaïque de disciplines structurées mais une Macroscole, un enseignement globaliste de toutes les disciplines.

La Macroscole offrira quatre caractéristiques:

- elle aura comme objectif de former un homme en équilibre avec son milieu, un "homme écologique"; d'où la création de l'animateur en remplacement du professeur;
- elle stimulera l'imagination par l'enrichissement des concepts et elle évitera les définitions qui polarisent le cheminement, ce qui entraînera le rejet des manuels et l'utilisation de l'ordinateur, qui peut présenter les paramètres scientifiques et humains;
- elle fera ressortir l'importance des relations entres les disciplines fort différentes, par exemple la biologie et l'économique, rejetant tout cloisonnement et structuration des cours;

- elle utilisera une approche par réitération graduée, qui consiste à revenir plusieurs fois, mais à des niveaux différents, sur ce qui doit être compris, plutôt qu'une approche linéaire qui consiste à comprendre d'abord A pour comprendre ensuite B puis C... sans jamais savoir à quoi cela servira. C'est la fin de la culture linéaire et la naissance du carrefour.

Convergences et divergences

- *Les structures centralisées de l'enseignement actuel pourraient-elles admettre un tel bouleversement?*
- *Quels moyens faudrait-il implanter à côté ou à la place des moyens traditionnels?*

Un dernier coup de pouce

Dans la recherche amorcée sur l'enseignement des sciences, le présent document se veut une exploration et non une proposition. Il constate une situation, il suggère un futur. Il examine des relations plus ou moins convergentes et stimule l'imagination sur des horizons divergents. Il demande un effort.

Cependant, ce document serait incomplet s'il ne fournissait aussi des arguments solides pour le statu quo, la stabilité et la sécurité. Un des grands spécialistes américains de la créativité, Charles Clark[12], a dressé une liste de ce qu'il appelle les "phrases fatales", ces petites phrases très courantes qui sclérosent toute imagination et fournissent de bonnes excuses pour demeurer fermement opposés aux idées neuves. Il vaut la peine de les adapter et de les méditer.

Nous ne l'avons jamais fait comme ça
avant... Cela ne marchera pas... Nous
n'avons pas le temps... Nous n'avons
pas la main-d'oeuvre... Ce n'est pas
compris dans le budget... Nous avons
déjà essayé cela... Nous ne sommes pas
encore prêts pour ça... C'est bien en
théorie, mais pouvez-vous le mettre en
pratique?... Trop académique... Que
penseront les élèves?... Quelqu'un
l'aurait proposé avant si cela avait
quelque valeur... Trop moderne... Trop
démodé... Nous en discuterons à un
autre moment... Vous ne comprenez pas
nos problèmes... Que fait-on aux États-
Unis dans ce domaine?... Nous avons
trop de changements en ce moment... Il
y a vingt ans que cela dure, ça doit
être bon... Quel esprit chimérique a
trouvé cela?... Tout ce que je sais,
c'est que ça ne marchera pas... Formons
un comité... Réfléchissons bien à cette
question pendant un certain temps et
surveillons les événements... Nous ne
sommes pas chargés de résoudre ce
problème... Le gouvernement ne l'accep-
tera pas... Ils penseront que nous
sommes farfelus... Le bureau des études
ne peut pas le faire... Cela ne
marchera pas chez moi... Les élèves ne
l'accepteront pas... Vous ne ferez
jamais accepter ça à la direction...
N'allez pas trop vite,.. Attendons
voir... Le syndicat va hurler... Nous
y revoilà... Mettons-le par écrit... Je
ne vois pas le rapport... Cela ne mar-
chera pas dans notre école... Nous ne
pouvons pas le faire selon les règle-
ments... Des noix... C'est de la
dynamite politique... Cela paraît bon,
mais je ne pense pas que ça marchera...
Cela ne fait pas partie du plan... Ce
n'est couvert par aucun règlement...
Nous n'avons jamais abordé le problème
comme ça avant... Ce n'est pas dans le
manuel... Cela donnera plus de
travail... Cela ne nous regarde pas...
Oui, mais... Cela va augmenter les
frais généraux... C'est trop tard...
C'est trop tôt... Cela va choquer...
Il n'en sortira rien...

ANNEXE

Le profil de l'individu créateur et les techniques pour stimuler la créativité

De nombreux chercheurs ont montré que les individus créateurs ont certaines caractéristiques communes. Les travaux de Ferrari[13] et de Filiatrault[14] en examinent tous les aspects; les éléments essentiels en sont résumés ici.

Caractéristiques intellectuelles

Il faut noter que des études ont montré qu'il n'existe aucune corrélation entre le degré de créativité et le quotient intellectuel, au-dessus d'un certain niveau. Les caractéristiques intellectuelles importantes de tout individu créateur sont les suivantes: la flexibilité conceptuelle qui lui permet de passer sans aucune cohérence d'un cadre de référence à un autre, l'originalité qui le conduit à percevoir, à réagir et à interpréter différemment des autres, ces deux premières caractéristiques entraînant habituellement une abondance d'idées; la préférence pour la complexité, qu'il conçoit comme un défi; la perceptivité, qui lui permet d'identifier et de définir rapidement les problèmes; le contrôle de la pensée créatrice, qui lui permet de passer rapidement de la synthèse à l'analyse, de l'abstraction à la réalité, du connu à l'inconnu, de l'hypothèse à la conclusion, de la concentration au vide intellectuel et du conscient au subsconscient.

Traits de personnalité

Les traits de personnalité de l'individu créateur sont sous-tendus par deux caractéristiques: l'indépendance et la motivation. L'individu créateur est foncièrement indépendant, ce que le conduira à défendre ses idées avec

acharnement lorsqu'il se trouve en désaccord avec la majorité, à se sentir différent des autres et à chercher à paraître comme tel, à identifier l'autorité comme un facteur conventionnel, arbitraire et temporaire dont l'opinion n'est ni finale, ni absolue, et dont le jugement n'est valable qu'en fonction de la valeur de son contenu, à accepter, stimuler et exprimer facilement ses impulsions. Cette indépendance du créateur lui apporte souvent des déboires dans un organisme qui ne sait pas l'orienter. Cependant, l'agacement que peut produire cette indépendance est compensé par la motivation au travail. Le créateur est principalement préoccupé par la tâche à accomplir et accorde une valeur relativement plus grande à la nature du travail qu'aux récompenses extrinsèques, tels que le salaire, l'avancement, etc. Pensant davantage en fonction d'une grande communauté, il changera d'emploi en fonction de ses intérêts et non d'intérêt en fonction des emplois. Il s'intéresse davantage aux étapes initiales du processus de décision, s'attardant à la définition d'un problème et à l'élaboration des diverses solutions. Contrairement à un préjugé bien ancré, il est fort capable d'organiser son travail pour créer.

Trait psychologique

Finalement, un trait psychologique du créateur: c'est un "communicateur". Ferrari attribue les caractéristiques suivantes au communicateur: il lit beaucoup, mais ses lectures gardent un caractère diversifié. Il établit et maintient des relations nombreuses et suivies avec des collègues extérieurs au groupe et à l'organisme. Il participe à des missions, à des conférences, à des foires et à des expositions. Il est un élément essentiel et naturel d'un réseau de communication. Enfin, il est d'un abord facile, ouvert et chaleureux. Cependant, les dirigeants d'entreprises craignent souvent qu'à trop multiplier les communications, trop de temps y soit consacré au détriment de la sacro-sainte efficacité. Pourtant c'est souvent le contraire: plus un ingénieur ou un chercheur passe de temps à discuter avec ses collègues, plus souvent il le fait, plus grand est le nombre de ceux avec qui il discute, plus son efficacité personnelle est élevée.

Des barrières qui s'ouvrent

Même si les chefs d'entreprises et les gouvernements sont conscients que la créativité débouche sur l'innovation, laquelle entraîne la croissance économique, l'individu créateur se heurte à plusieurs obstacles et ses supérieurs doivent l'aider à lever de nombreuses barrières. Barrières économiques: l'absence de volonté, de la part des corporations, d'investir des ressources réelles et actuelles en vue de bénéfices hypothétiques, tels que les dépenses de voyages pour participer à des conférences en vue d'avoir éventuellement des idées nouvelles. Barrières technologiques: nécessité d'obtenir un succès sans penser que même celui-ci peut poser de nouveaux problèmes sous forme de techniques accessoires à développer. Barrières d'organisation: respect de l'organisation hiérarchique et des canaux formels de communication, sans réaliser que le créateur circule à travers les divers services pour grappiller l'information dont il a besoin et qu'il travaille habituellement dans une structure planétaire. Barrières personnelles: le créateur est souvent sous le projecteur, et il bouscule les habitudes en dérangeant les relations d'autorité. Barrières de perception: définition des critères de jugement et des règles d'action sans réaliser qu'elles sont généralement établies en vue d'assurer le fonctionnement d'une entreprise en situation stagnante et non pour traiter du changement, résultat de la créativité. Tout organisme tend à la stabilité, mais l'innovation déséquilibre. Ainsi, innover sera donc perpétuellement violer les règles d'action de l'organisme.

La créativité ne saurait se développer à l'intérieur de ces barrières, qui peuvent cependant être atténuées de manière spectaculaire par certaines méthodes fréquemment employées dans les entreprises. Ces méthodes sont de véritables techniques qu'il serait trop long de décrire; cependant elles sont définies brièvement dans les paragraphes suivants.

Techniques de créativité

- Techniques de libre association:
  - -brainstorming;
  - -synectique;

-bionique;
-méthode Delphi.

- Techniques structurées:

-liste de vérification et contrôle;
-liste d'attributs;
-objet au foyer;
-analyse morphologique.

Techniques de libre association

Le brainstorming, consiste en une réunion de personnes auxquelles est exposé un problème ou un sujet relevant d'une idée créative. Dans la plus grande liberté, chacun exprime toutes les idées qui se présentent à lui à ce propos, sans qu'aucune critique ne soit faite. Les idées provenant de part et d'autre agissent comme des stimuli et des sujets d'association sur l'esprit des assistants et leur donnent d'autres idées. L'ensemble est enregistré ou sténographié.

La synectique, est décrite comme une théorie fonctionnelle visant à l'utilisation consciente des mécanismes psychologiques subconscients qui président à toute activité créatrice, et élaborée en vue d'accroître les chances qu'un problème soit bien posé et bien résolu, par la connaissance des mécanismes à faire jouer pour arriver à des solutions novatrices. Elle part du principe que la créativité des individus est améliorée s'ils sont conscients de ces dispositifs. Le processus consiste à rendre l'étrange familier et à rendre ce qui est familier étrange. Il implique une sorte de "remise à neuf" de la vision des choses recourant en particulier à des moyens comme: l'analogie personnelle, l'analogie directe, l'analogie symbolique et l'analogie par le fantasme. La synectique est différente du brainstorming surtout parce qu'elle permet la critique et ne cherche à retenir qu'une seule et unique idée nouvelle comme solution à un problème.

La bionique est fondamentalement une méthode d'analogie qui consiste à observer les organismes vivants produits par la nature et à s'inspirer des solutions naturelles pour les appliquer aux innovations créées par

l'homme. Elle est surtout valable dans les domaines où la technique joue un grand rôle.

La méthode Delphi, utilisée principalement dans le domaine de la prospective, consiste à consulter des experts sur un sujet donné, sans les réunir, en créant un circuit entre eux qui permet, par un processus de feedback successif, d'aboutir à des solutions qui ont l'avantage d'être reconnues comme possibles par quelques-uns des individus qui ont la meilleure connaissance de la matière considérée.

Techniques structurées

La liste de vérification ou de contrôle, basée sur le fait que la création d'idées est reliée à l'association de concepts connus qui existent dans le champ de perception d'un individu, est une liste qui est utilisée de façon systématique pour suggérer des alternatives ou des possibilités de solution. Les pilotes de lignes, les astronautes, les architectes et les ingénieurs utilisent couramment de telles listes.

La liste d'attributs, consiste en une analyse détaillée d'un produit, d'un service ou d'un procédé de façon à en dresser une liste des éléments de base ou d'attributs, chaque élément ou attribut étant par la suite révisé d'une façon méthodique par une technique de libre association.

L'objet au foyer, est surtout utilisée pour élaborer des alternatives de changement à un produit, service ou procédé existant, ces derniers étant considérés comme un élément fixe auquel on associe les attributs d'un objet au foyer. Cette méthode cherche à répondre à la question: quel est l'effet de l'objet au foyer A sur l'élément fixe B, en considérant à tour de rôle chacun des attributs de A. Par exemple, quel est l'effet de la distance sur les communications, considérant la distance verticale, la distance horizontale, le temps nécessaire, la distance à parcourir, le moyen de transport, le support nécessaire à la communication, etc.

L'analyse morphologique consiste à distinguer les paramètres d'un problème et à en examiner toutes les relations possibles. Il est nécessaire de choisir des paramètres sur lesquels il est possible d'avoir un contrôle. Il s'agit d'une approche structurée à la prise de décision et à la solution de problèmes. Un problème ayant quatre paramètres définis par huit caractéristiques flexibles et sur lesquels il est possible d'agir aurait ainsi une possibilité de 4 096 combinaisons de solutions, parmi lesquelles se trouve peut-être l'idée originale unique.

Il n'est pas possible de comparer l'efficacité de ces diverses techniques par rapport à une recherche donnée. Cependant, il existe une règle fondamentale: il faut utiliser la ou les techniques qui peuvent étayer l'effort de recherche.

Convergences et divergences

- *Quelles sont les relations entre les éléments du profil de l'individu créateur et les objectifs poursuivis par l'enseignement des diverses disciplines: géométrie, physique, chimie, géographie, anglais, français, morale?*

- *Quelles sont les méthodes de créativité qui seraient utilisables pour l'enseignement? Existe-t-il des similitudes avec certaines méthodes d'enseignement?*

NOTES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Marshall McLuhan, La galaxie de Gutenberg, Éditions Hurtubise, H.M.H, 1967.

2. Marshall McLuhan, Pour comprendre les média, Éditions Hurtubise, H.M.H., 1968.

3. "Transfer of Science and Technology in Successful Innovation", exposé non publié présenté par Lionel Cox à la 27e réunion annuelle de la Forest Products Research Society, Chicago, 1974.

4. W.H.Gruber et D.G. Marquis, Factors in the Transfer of Technology, MIT Press, Cambridge, 1969.

5. L. Cox, op. cit.

6. James R. Bright, Research Development and Technological Innovation, Richard D. Irwin Inc., Homewood, Ill., 1970.

7. Maurice Brossard, Biotechnologie: Un plan de développement pour le Canada, Rapport du Groupe de travail sur la biotechnologie présenté au ministre d'État chargé des Sciences et de la Technologie, Approvisionnements et Services Canada, 1981.

8. Maurice Lamontagne, Une politique scientifique canadienne, 4 volumes, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 1977.

9. Pierre Teilhard de Chardin, Le phénomène humain, oeuvre nº 1, Éd. du Seuil, France, 1955.

10. Alvin Toffler, La troisième vague, Éd. Denoël, Paris, 1980.

11. M. Lamontagne, op. cit.

12. Charles Clark, Brainstorming, Dunod, Paris, 1971.

13. A. Ferrari, "Peut-on gérer l'innovation?", Le Management, vol. 40, oct. 1973.

14. P. Filiatrault, "La créativité", Commerce, vol. 76, 1974, pp. 36-47.

BIBLIOGRAPHIE

Baker, M.R., Siegman, J. et Rubenstein, A.H., The Effect of Perceived Needs and Means of the Generation of Ideas for Industrial R-D Projects, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Transactions on Engineering Management, vol. 14, déc. 1967, pp. 156-163.

Bright, J.R., Research Development and Technological Innovation, Richard D. Irwin Inc., Homewood, Ill., 1970.

Brossard, Maurice, Biotechnologie: Un plan de développement pour le Canada, Rapport du groupe de travail sur la biotechnologie présenté au ministre d'État chargé des Sciences et de la Technologie, Approvisionnements et Services Canada, 1981.

Buetow, C.P., "Evaluation of New Ideas", Business Quarterly, vol. 39, n° 1, printemps 1974, pp. 35-36.

Carter, C.F. et Williams, B.R., Industry and Technical Progress: Factors Governing the Speed of Application of Science, Oxford University Press, Don Mills, Ont., 1957.

Centre de recherches industrielles du Québec, Tour d'horizon sur les grandes perspectives technologiques des entreprises québécoises - Étude à diffusion interne, tirage limité, non daté.

Clark, C., Brainstorming, Dunod, Paris, 1971.

Coleman, J.S. et al., Medical Innovation: A diffusion Study, Bobbs-Merril, Indianapolis, In., 1966.

Collins, A.R., "Nouvelles activités pour les organisations de recherche industrielle", Spectrum (British Science News), n° 114, 1974, pp. 15 et 16.

Conseil des sciences du Canada, Les sciences au Québec: quelle éducation? Voir en particulier: l'enseignement des sciences: une réponse ou une question, M. Risi, 1981, p. 43.

Cox, Lionel, Transfer of Science and Technology in Successful Innovation, Forest Products Research Society, 27th Annual Meeting, Chicago, juin 1974.

David, A., "L'entreprise a besoin d'information", Hommes et Techniques, vol. 30, nº 356-357, juin-juillet 1974, pp. 434-439.

Ferrari, A., "Peut-on gérer l'innovation", Le Management, nº 40, oct. 1973.

Filiatrault, P., "La créativité", Commerce, nº 76, mai 1974, pp. 36, 40, 42 et 47.

Gersberger, P. et Allen, T., "Criteria Used by Research and Development Engineers in the Selection of the Information Source", Journal of Applied Psychology, nº 52, 1968, pp. 272-279.

Gilfillan, C.S. et Bright, J.R., The Prediction of Technical Change, Richard D. Irwin Inc., Homewood, Ill., 1964, pp. 738-754.

Gruber, W.H. et Marquis, D.G., Factors in the Transfer of Technology, MIT Press, Cambridge, 1969.

Jewkes, J., Sawers, D. et Stillerman, R., The Sources of Invention, MacMillan, London (England), 1969.

Lachat, S. et Hiance, M., "Détection de l'invention et protection de l'inventeur", Le Management, nº 45, mars 1974, pp. 46-52.

Lamontagne, Maurice, Une politique scientifique canadienne, Rapport du Comité sénatorial sur la politique scientifique, 4 volumes, Approvisionnements et Services Canada, 1977.

McLuhan, Marshall, La galaxie de Gutenberg, Éditions Hurtubise, H.M.H., 1977.

McLuhan, Marshall, Pour comprendre les média, Éditions Hurtubise, H.M.H., 1968.

Ministère d'État au développement culturel et scientifique, Pour une politique québécoise de la recherche scientifique, Éditeur officiel, 1979.

Myers, S. et Marquis, D.C., Successful Commercial Innovation, Washington D.C., National Science Foundation, 1969.

OCDE, Écarts technologiques: Comparaison entre pays membres, Paris, 1970.

Ordre des ingénieurs du Québec, Le défi technologique du Québec, Montréal, juin 1978.

Prévost, R., " Nos gouvernements face à l'innovation industrielle", Québec industriel, vol. 29, n° 2, février 1974, pp. 25-27.

Reich, Irving, Creativity in Research Organizations, Research Management, vol. 3, n° 4, hiver 1960, pp. 217-225.

Rigny, A.J., Structure de l'entreprise et capacité d'innovation, Éditions Puteaux, Hommes et Techniques, France, 1973.

Ruzic, N.P., "You can buy research dollars for pennies", Industrial Research, n° 44, août 1974, pp. 44-48.

Teilhard de Chardin, Pierre, Le phénomène humain, oeuvre n° 1, Éditions du Seuil, France, 1955.

Teissier de Cros, A., Innovation et progrès, Ministère au Développement industriel et scientifique, Paris, novembre 1971.

Toffler, Alvin, La troisième vague, Éd. Denoël, Paris, 1980.